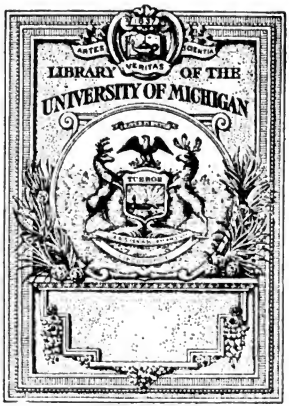
Die entstehung der steinkohle und der kaustobiolithe uberhaupt ...

Henry Potonié



Digitized by Google

TN
800
P86
1920

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 1. Sumpfflachmoor-Landschaft aus dem mittleren produktiven Carbon. Nach einem vom Verfasser für das Deutsche Museum von Meisterwerken der Technik und Naturwissenschaften in München angegebenen Gemälde von W. KRANZ.

Digitized by Google

Die
Entstehung der Steinkohle
und der Kaustobiolithe überhaupt
(wie des Torfs, der Braunkohle, des Petroleums usw.)

Nach Vorlesungen, gehalten
an der Kgl. Bergakademie und der Universität zu Berlin,

von

Prof. Dr. H. Potonié
weiland Kgl. Landesgeologen

Sechste Auflage, durchgesehen von **Prof. Dr. W. Gothan**

Mit 75 Abbildungen

Berlin
Verlag von Gebrüder Borntraeger
W 35 Schöneberger Ufer 12a
1920

Digitized by Google

Alle Rechte,
namentlich das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten

Copyright, 1920, by Gebrüder Borntraeger in Berlin

Druck von E. Buchbinder (H. Duske) in Neuruppin

Digitized by Google

Vorbemerkungen zur sechsten Auflage

Die fünfte Auflage dieses Buches ist seit einiger Zeit vergriffen; der Verlag drängte daher auf einen Neudruck. Aus Mangel an Zeit und weil infolge des Krieges die inzwischen erschienene ausländische Literatur noch nicht zu beschaffen war, habe ich größere Änderungen an dem Buch unterlassen. Ich bin von der Meinung ausgegangen, daß es bei der regen Nachfrage besser sei, das Buch so wie es nun ist, drucken zu lassen, als es noch für längere Zeit im Buchhandel fehlen zu lassen. Besonders in dem Kapitel über das Tropenklima habe ich einige einschränkende Vorbemerkungen gemacht, sonstige Änderungen sind ebenfalls von Belang.

Der Stoff des vorliegenden Buches hat dem Verfasser besonders am Herzen gelegen, und seine Untersuchungen auf diesem Gebiet gehören zu dem Besten, was darin bisher geleistet worden ist. So entspricht es auch dem Standpunkt der Pietät, diese Auflage wesentlich in der Form der fünften herauszugeben. Man wird jedoch in vieler Hinsicht Ergänzungen finden, und die genannte neuere Literatur ist keineswegs ganz unberücksichtigt geblieben, wie schon das Literaturverzeichnis zeigt, wiewohl sie noch nicht in dem von mir selbst gewünschten Maße im Text mit verarbeitet werden konnte. Dieses Literaturverzeichnis dürfte von vielen als eine überaus wertvolle Ergänzung des Buches begrüßt werden; Herr Dr. K. NAGEL hat dasselbe im wesentlichen mit meiner Hilfe zusammengestellt. Ich bemerke, daß es mir selbst oft schwer geworden ist, die in dem Buch zitierte Literatur zu finden, da fast nur Jahreszahlen angeführt werden. Für andere Leser dürfte es vielfach zur Unmöglichkeit gehören, die aufgeführten Arbeiten zu finden, und doch muß ein solches Buch als Einführung das entschieden ermöglichen, da sonst ein eigenes Weiterstudium an Hand der Spezialquellen unmöglich ist. Ich hoffe also damit dieser Auflage eine wertvolle Bereicherung gegeben zu haben.

Bemerkt sei noch, daß unter der ersten Person („ich") wie in der fünften Auflage so auch hier der Verfasser zu verstehen ist, nicht der Herausgeber. An den Stellen, wo dies anders ist, ergibt es sich durch die Unterschrift oder sonst von selbst.

Berlin, im August 1920

W. GOTHAN

Digitized by Google

Aus dem Vorwort zur fünften Auflage

C'est surtout en histoire naturelle qu'on est toujours mécontent de ce qu'on fait, parceque la nature nous montre à chaque pas qu'elle est inépuisable. Cuvier.

Seit Jahren ist es mein Bemühen, ein besseres Verständnis für die brennbaren organogenen Gesteine und eine natürliche Klassifikation für sie zu gewinnen, und zwar habe ich das zu erreichen gesucht durch ein möglichst weitgehendes Studium der heutigen Verhältnisse, der Art und Weise, wie, und der Örtlichkeiten, wo sich heute solche Gesteine bilden, um dadurch Vergleichs- und Anhaltspunkte für die Eigentümlichkeiten zu erhalten, wie sie die Lagerstätten der Steinkohlen usw. aufweisen.

Bei der vielfältigen Gelegenheit, die ich seit fast einem Vierteljahrhundert gehabt habe, mich mit der Steinkohlenformation im Revier und im Studierzimmer zu beschäftigen, habe ich mir eine auf selbstbeobachtete Tatsachen gegründete Meinung über die Entstehung der Steinkohlenlager und der Kaustobiolith-Ablagerungen überhaupt zu bilden vermocht.

Die Gesamtliteratur ist gegenwärtig nicht mehr zu bewältigen: wer diesen Versuch machen wollte, würde kaum zu einem Schluß kommen. Trotz eifrigster Bemühung, wenigstens die fördernden Veröffentlichungen zur Kenntnis zu nehmen, ist mir sicher doch noch vieles auch von diesen entgangen; insbesondere steckt in den fremdsprachlichen Literaturen gewiß so manches, das berücksichtigenswert ist, mir aber, sei es aus Mangel an Kenntnis der Sprache, sei es überhaupt entgangen ist.

Ich habe die in Rede stehende Frage fast von Anbeginn meiner Steinkohlenstudien in Angriff genommen, mich jedoch bisher gescheut, etwas Ausführlicheres zu veröffentlichen, weil ich immer noch verschiedene wesentliche Lücken empfand, die ich durch Autopsie an Ort und Stelle ausfüllen wollte. Nicht nur, daß ich Irrtümer vermeiden wollte, die vom grünen Tisch aus zu leicht begegnen, sondern es kommen auch Dinge in Betracht, über die weder die bisherige umfangreiche Literatur Auskunft gibt, noch von den an Ort und Stelle befindlichen Kreisen aus in dem gewünschten Sinne beantwortet werden können, weil hierzu eine Kenntnis des Gesamtgegenstandes nötig ist.

Ich selbst habe insbesondere bald eingesehen, daß ohne genaue Kenntnis der rezenten Kaustobiolithe auf dem Gebiet nicht vorwärts zu

Digitized by Google

kommen ist, und ich habe daher schließlich getrost weit über ein Jahrzehnt daran gesetzt, um auch diese zum Vergleich mit den fossilen Kaustobiolithen zu studieren.

Wenn ich trotz der für mich stark fühlbaren Lücken nunmehr die Arbeit vorlege, soweit sie eben gediehen ist, so geschieht dies, weil sich im Verlaufe des Eindringens in den Gegenstand seine Bewältigung für den Einzelnen als unmöglich erwies wegen der großen Fülle von Problemen, die sich auftun und noch viele Arbeit erfordern werden. Ich habe es schließlich für nützlicher gehalten, hiermit das zu geben, was ich bis jetzt habe, als noch länger zu warten, um so mehr, als ich durch Unterhaltungen mit Geologen und Palaeobotanikern immer wieder die Überzeugung gewonnen habe, daß auch ein Torso wie der vorliegende gelegen kommen wird.

Ursprünglich glaubte ich das ganze Gebiet in einem mäßigen Bande vorbringen zu können. Aber allein das für den Gegenstand notwendige Studium der rezenten Verhältnisse und die Darlegung dieser erforderte eine umfangreiche Darstellung, die ich in meinem Werk über die rezenten Kaustobiolithe geboten habe.

Ich habe es mit wenigen Ausnahmen vermieden, mich in eine Polemik gegen Schriften einzulassen, die andere Anschauungen vertreten, als sie auf Grund einer kritischen Methodik zu gewinnen sind, aber ich habe doch auf gegenteilige Meinungen, die besonders im Vordergrunde stehen, Bezug genommen.

Man kann in der Literatur zur Frage nach der Entstehung der Steinkohlen alles vertreten finden, was man wünscht: die widersprechendsten Ansichten werden mit Energie verfochten. Bei dieser Sachlage ist eine Klarheit gegenwärtig nur für den zu gewinnen, der über den Gegenstand selbst ausgiebig geforscht hat und die Literatur hierüber kennt und zu beurteilen versteht.

Die früheren Auflagen führten den Titel „Die Entstehung der Steinkohle und verwandter Bildungen einschließlich des Petroleums" und die drei ersten, da sie gleichzeitig einen französischen Text bringen, „Formation de la houille et des minéraux analogues y compris le pétrole." Entsprechend meiner Aufstellung des Begriffes „Kaustobiolithe" veränderte ich vorliegend den Titel in „Die Entstehung der Steinkohle und der Kaustobiolithe überhaupt".

Gr. Lichterfelde bei Berlin, im Juni 1910

H. Potonié

Digitized by Google

Inhalts-Übersicht

Seite

Vorbemerkungen zur sechsten Auflage V
Aus dem Vorwort zur fünften Auflage VI
Einleitung 1
Historisches 5
Zersetzungsprozesse 14
Heutige Bildungs- und Lagerstätten von Kaustobiolithen 18
Sapropelite 18
Humusgesteine 22
Liptobiolithe 46
Fossile Sapropelite 50
Allgemeines 50
Spezielleres zur Synonymik der Sapropelite 68
Besondere Sapropelite mit reichen akaustobiolithischen und anorganisch-mineralischen Zutaten 75
Sapropelitkalke 75
Kieselsubstanz enthaltende Sapropelite 76
Eisenhaltige Sapropelite 77
Gagat 79
Petroleum, ein abgeleiteter Sapropelit 81
Humus-Kohlen 96
Charaktere für Autochthonie und Allochthonie 114
Sekundär-allochthone Kohlen 138
Gerölle und konkretionäre Bildungen in Kohlenlagern 143
Gerölle anorganischer Gesteine 144
Aus Kohle bestehende Gerölle 148
Inkrustate und Intuskrustate 149
Die Carbonmoore als Sumpfflachmoore von Regenwaldcharakter 153
Moorbildung unter Tropenklima 154
Moorflora, insbesondere des produktiven Carbons und Flachmoor-Natur der Steinkohlenmoore 162
Die hervorragendsten Moorbildungszeiten: Carbon und Tertiär 187
Geologischer Florenwechsel 192
Fossile Liptobiolithe 199
Schlußwort 213
Literatur 215
Register 221

Digitized by Google

Einleitung

Wie die Steinkohlen, so stammen fast alle anderen brennbaren Gesteine von Lebewesen: sie sind Kaustobiolithe (vom griechischen *καιειν* = brennen, *καυστος* = brennbar; *βιος* = Leben und *λιθος* = Stein). Vielleicht macht allein eine Ausnahme der natürliche Schwefel, der im wesentlichen vulkanischer Tätigkeit seinen Ursprung verdankt; denn er kann sich z. B. aus vulkanischen Dämpfen und warmen Quellen (Thermen) ausscheiden. Ferner geht er in der Natur auch aus der Zersetzung von Schwefelwasserstoff hervor ($2H_2S + O_2 = 2H_2O + 2S$), der überall da gebildet wird, wo Sulfatsalze, z. B. des Meerwassers, durch sich zersetzende organische Substanzen reduziert werden, an welchem Prozeß freilich auch kaustobiolithisches Material beteiligt ist.

Wenn uns wie in den Kaustobiolithen etwas Fertiges entgegentritt, das uns Fragen abnötigt, so müssen wir bestrebt sein, das Werden, das Entstehen zu erkennen, weil es nur auf diesem Wege möglich ist, unbekannte Vorgänge in solche einfacheren Tatsachen aufzulösen, die uns bereits bekannt oder doch leichter verständlich sind.

Auch wir wollen deshalb sehen, woraus und wie die fossil vorhandenen Kaustobiolithe entstanden sind, oder anders ausgedrückt: aus welchen uns besser bekannten und näher zu untersuchenden Materialien sind sie hervorgegangen und wie haben sich die Prozesse zu ihrer Bildung abgespielt? Es ist in der Tat möglich, auf diesem Wege zu einer Erkenntnis zu gelangen; denn auch heute entstehen Kaustobiolithe in reichlichem Maße, und die Merkmale, die diese und ihre Lagerstätten aufweisen, stimmen mit denen der fossilen Kaustobiolithe soweit überein, wie es nur verlangt werden kann, um weitgehende Vergleiche zu ermöglichen und daher eine befriedigende Aufklärung zu bieten. Bei der angedeuteten Tendenz, uns also durch Kenntnisnahme des Werdens aus besser Bekanntem das Verständnis für das Fertige, in seinem Wesen weniger gut Bekannte zu erschließen,

Digitized by Google

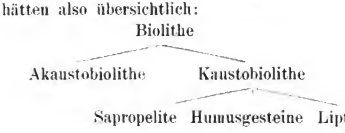
kann es sich natürlich nur um die Aufsuchung derjenigen elementaren, besser bekannten Tatsachen handeln, die jedermann oder doch einem größeren Kreise nahe liegen. Mit anderen Worten: Nicht die Genesis in chemischer Hinsicht, die Darstellung der Umwandlung aus den lebenden Urmaterialien durch die Übergangszustände bis zur fossilen Kohle usw. ist die Aufgabe, die sich dieses Buch stellt — obwohl die chemische Seite nicht ganz beiseite gelassen werden kann, — sondern es soll die Entstehung der Kaustobiolithe im Sinne der Geologie verfolgt, d. h. eine Antwort auf die Frage gegeben werden: welche leicht zu beobachtenden Erscheinungen auf der Erdoberfläche sind die heutigen Parallelen, die heranzuziehen sind, um uns die fossilen Kohlen und Kaustobiolithe überhaupt verstehen zu lehren?

Die Kaustobiolithe gehören als Untergruppe zu den Biolithen; so hatte Chr. G. Ehrenberg alle die von Organismen oder ihren Teilen gebildeten Gesteine genannt. Die Biolithe sind aber nicht alle Kaustobiolithe. An der Zusammensetzung und Veränderung der Erdrinde hat die Lebewelt noch einen viel weiter gehenden, beachtenswerten Anteil; denn Zeugen der großen geologischen Wirksamkeit der Pflanzen und Tiere sind auch Biolithe, die nicht brennen, die Akaustobiolithe, die noch weit verbreiteter sind als die Kaustobiolithe. Akaustobiolithe entstehen 1. aus Niederschlägen, die sich zersetzende organische Substanzen veranlaßt haben, 2. und besonders aus Kalk und Kieselskeletten von Pflanzen und Tieren, deren brennbare organische Substanz mehr oder minder geschwunden ist (silurische Algen-Kalke, Korallenkalk, Schreibkreide der Kreideformation usw.).

In Rücksicht auf ihre Genesis und chemische Zusammensetzung sind die Kaustobiolithe vorteilhaft in drei Gruppen zu bringen. Sie gehören entweder:

1. zu den Sapropeliten (vom griechischen σαπρος = faul, πηλος = Schlamm und — ites = abstammend, dazu gehörend),
2. zu den Humusgesteinen (Humus heißt im Lateinischen eigentlich nur das Erdreich, wird aber hier, wie wir sehen werden, in beschränkterem Sinne gebraucht) und
3. zu den Liptobiolithen (vom griechischen λειπτος [latinisiert liptos] = zurückgelassen und Biolith).

Wir hätten also übersichtlich:



Digitized by Google

Die ausführlicheren Charakteristika dieser drei großen Gruppen ergeben sich erst aus dem Späteren. Da wir aber schon vorher von diesen Bildungen reden wollen, seien hier schon kurz die Unterschiede angedeutet.

Von Kaustobiolithen kann man nur dann reden, wenn brennbares, organogenes Material in den Gesteinen in solcher Menge vorhanden ist, daß es ein wesentliches Merkmal dieser Gesteine ausmacht; d. h., man wird nur dann von einem Sapropelit sprechen, wenn er ausschließlich aus Sapropel oder davon abgeleitetem Kaustobiolith besteht oder ein so großes Quantum davon enthält, daß das Gestein seine Brennbarkeit noch deutlich erkennen läßt. Ebenso ist es mit dem Humus der Humusgesteine usw.

Sapropel (Faulschlamm) entsteht durch die Anhäufung abgestorbener echter Wasserorganismen oder von Resten derselben, soweit es sich um die brennbaren Teile handelt; denn ausschließliche Skelett- und Schalen-Reste würden einen Akaustobiolith ergeben. Die echten Wasserorganismen (Tiere sowohl wie Pflanzen) sind durch einen höheren Fett- und Protein-Gehalt ausgezeichnet, wodurch die Eigenart des Sapropels gegenüber dem

Humus bedingt ist. Humus nämlich entsteht aus Land- (einschl. Sumpf-)Pflanzen. Bei den höheren Pflanzen spielen aber Kohlenhydrate die hervorragende Rolle. Unter Humus sind ganz allgemein die bei der Zersetzung von Sumpf- und Landpflanzen zurückbleibenden festen, bezw. flüssigen oder gelösten, kohlenstoffhaltigen, brennbaren Bestandteile zu verstehen.

Liptobiolithe endlich sind Harz-, Wachsharz- und Wachs-Bildungen, die bei ihrer schweren Zersetzlichkeit nach der Verwesung von Pflanzenteilen, die diese Produkte enthalten, zurückbleiben.

Der wichtigste Kaustobiolith, ja das wichtigste Mineral bezw. Gestein überhaupt, das wir auf der Erde als natürliches Brennmaterial besitzen, ist aber die Steinkohle insbesondere der Steinkohlenformation[1]), auch wegen ihrer Farbe Schwarzkohle genannt, beides entsprechend den Bezeichnungen der Gelehrtensprache des Mittelalters: carbones lapidei und terra nigra; die natürlichen Kohlen (im Gegensatz zu den künstlichen) wurden carbones terrei (Erdkohlen), sonst auch carbones fossiles, lithanthraces und anthraces genannt. Bei ihrer hervorragenden Wichtigkeit soll die Betrachtung der Steinkohle in den Vordergrund gerückt werden. Die Steinkohle findet sich bekanntlich in Lagen von geringster Mächtigkeit bis zu mehreren Metern anschwellend

[1]) Ich setze hinzu „insbesondere der Steinkohlenformation", weil Steinkohlen (= Schwarzkohlen) hier im mineralogischen (petrographischen) Sinne genommen werden. Es gibt auch Steinkohlen in anderen geologischen Formationen (im Jura, Tertiär usw.).

Digitized by Google

zwischen Schiefertonen, die mit Sandsteinschichten abwechseln (Fig. 2). Die Mächtigkeit der produktiven Steinkohlenformationen, also jener geologischen Formation, die wesentlich die Steinkohlenlager[1]) enthält, beläuft

Fig. 2. Stein-(Schwarz-)Kohlen-Lager führendes Profil.
Eisenbahn-Durchschnitt im Saar-Kohlenrevier.

sich an vielen Stellen der Erde auf mehrere tausend Meter. Mit der ungeheuren Produktion an Kohlen ist keine andere der Erde zu vergleichen.

[1]) Ich ziehe hier die Ausdrücke Kohlenlager oder Kohlenbank der allgemein gebräuchlichen Bezeichnung Kohlenflöz vor, weil üblicherweise das Wort Flöz von flössen (= zusammenschwemmen) abgeleitet wird. Wir wollen aber erst untersuchen, ob die Entstehung der Kohlenlager generell durch Zusammenschwemmung von pflanzlichem Material anzunehmen ist, oder ob eine andere Annahme den Tatsachen besser entspricht. Bei der Benutzung des Wortes Flöz für die Kohlenlager wird jetzt zu leicht angenommen, daß auch diese wie die in ihrem Hangenden und Liegenden vorhandenen Gesteine (z. B. die Sandsteine und Schiefertone) durch Wasser abgesetzt worden seien. Wir werden aber sehen, daß diese Verallgemeinerung unangebracht ist.

Digitized by Google

Historisches

Die Steinkohlen sind frühzeitig in den wissenschaftlichen Gedankenkreis eingetreten. Ansichten über ihre Entstehung und die der natürlichen Kohlen überhaupt sind seit langem immer wieder der Öffentlichkeit unterbreitet worden. Vorwiegend stützen sich aber diese Äußerungen bloß auf einzelne Tatsachen, die den Autoren gerade aufgefallen waren, ohne daß diese weitere kritische Umschau gehalten hätten. Wer das Gebiet aber wirklich wissenschaftlich pflegt, sieht bald seine Schwierigkeiten und seinen großen Umfang zumal dadurch gegeben, daß in erster Linie nicht weniger als drei wichtige Disziplinen mitzureden haben: die Geologie, die Chemie und die Biontologie (Botanik und Zoologie). So ist schon hieraus ersichtlich, daß unser Gegenstand in der Tat ein sehr weitschichtiger ist.

Bis ins späte Mittelalter hielt man die Steinkohle für ein Mineral, das, wie die anderen Gesteine, von Anbeginn auf der Erde vorhanden gewesen war. Gewisse Autoren sprechen noch im 18. Jahrhundert von einer Verdichtung aus der Luft, ähnlich der ursprünglichen Anschauung des ANAXIMENES (588 bis 524 v. Chr.), nach der die Luft durch Verdichtung zu Wasser, Erde und Steinen wird.

Sehr häufig findet man bei unmittelbaren Vorläufern unserer heutigen wissenschaftlichen Periode die Anschauung vertreten, daß irgendwelche in der Natur vorhandenen Flüssigkeiten durch Imprägnation die Sonderbeschaffenheit von Kaustobiolithen bedingt hätten. Bei A. MATTHIOLUS z. B. (MATTHIOLI epist. ed. 1. BAUHIN, 1592 p. 142) findet sich die Ansicht, Stein gehe in Kohle über wie Holz in Stein, je nachdem sie mit Kohlen- oder Steinsäften, die in der Natur vorhanden seien, in Berührung kämen.

Noch im ersten Drittel des vorigen Jahrhunderts gab es ernste Gelehrte, die nicht abgeneigt waren, die unorganische Natur der fossilen Kohlen, ja sogar des Torfes zu vertreten. So drückt sich z. B.

Digitized by Google

Ch. Keferstein (1826, p. 78), indem er die Kohlenbildung mit der gewisser Kalklager[1]) vergleicht, so aus: „Niemand wird behaupten, daß die Vegetabilien es sind, die hier den Kalktuff bilden, sondern man wird diese als etwas nicht Wesentliches betrachten, und das kalkige Wasser als das Wesentliche ansehen, aus dem sich der Kalktuff bildet. Auf ähnliche Art wird man aber bei analogen Verhältnissen nicht den Vegetabilien, sondern dem torfigen Wasser die Eigenschaft zuschreiben müssen, den Torf zu bilden. — Auf welche Art hier das kalkige, dort das torfige Wasser gebildet wird, ist eine geologische Frage, die dann erst beantwortet werden kann, wenn der Gang ermittelt ist, den die Bildungen der jetzigen Periode überhaupt nehmen." Diese Ansicht stützt sich auf frühere verwandte Äußerungen, wie man sie besonders zusammengestellt findet im James Parkinson (1811), einem Buch, das überhaupt für den Historiker unseres Gegenstandes von großem Werte ist. Agricola, der älteste Autor, von dem wir in dieser Hinsicht Kunde haben, erklärt 1544 die Steinkohle für verdichtetes Erdöl, über dessen Ursprung freilich nichts gesagt wird. Es ist interessant, daß Meinungen, die sich mit dieser Anschauung mehr oder minder berühren, bis heute stets vertreten worden sind, so noch von C. Eg. Bertrand bezüglich der Sapropel-Kohlen (vergl. näheres am Schluß dieses Abschnittes), wie andere Autoren sich lange Zeit noch die Entstehung der (Humus-) Steinkohlen durch Niederschlag der löslichen Humusstoffe aus den erwähnten Torfwassern (Schwarzwassern) vorstellten. Wie lange dauert es nicht oft, bevor den natürlichen Verhältnissen entsprechende Ansichten sich Bahn brechen! Denn schon 1592 hat Balthasar Klein die Entstehung der Stein- und Braunkohle aus Holz angenommen und auch Valerius Cordus († 1544) nimmt pflanzlichen Ursprung an. Besonders seit der Mitte des 18. Jahrhunderts war der richtige Weg gewiesen. Joh. Hartm. Degner sagt nämlich bereits 1760 (p. 126): „Daß der Torf in der That eine Zuhauffsammlung unzehliger in und unter dem sumpffhafft-stillstehenden Wasser blühenden, grünenden und wachsenden sumffigren Gewächse sey." Schon Degner empfiehlt, das Mikroskop bei der Untersuchung des Torfs (p. 125 u. a.) zu benutzen.

Manche Autoren älterer Zeit, des Mittelalters und auch noch später, glaubten aber, daß die Kohlen- und „Kräuterfiguren", d. h. die Pflanzenfossilien die unmittelbaren Produkte bestimmter unterirdischer Samen seien. Es lohnt sich für uns nicht, alle die unserm heutigen Denken weit abgelegenen Ansichten vorzuführen, die einmal zu unserm Gegenstande aufgetaucht sind. Es genügt, Beispiele zu haben, die den Gegensatz verdeutlichen.

[1]) Es handelt sich, wie deutlich aus seiner Beschreibung hervorgeht, um Sapropel-Kalklager.

Digitized by Google

Sehr bald haben dann aber die heutigen Anschauungen an Boden gewonnen, nach denen die Steinkohlenlager Zersetzungsprodukte früherer Pflanzen sind.

Sie lagen von vornherein so nahe, daß eine ganze Anzahl Forscher darauf hingewiesen haben, nämlich (außer dem schon genannten DEGNER) SCHEUCHZER (1709), VON BEROLDINGEN (1778), DE LUC (1778) und andere. Der letztgenannte sagt: „Daß die Steinkohlen aus vegetabilischen Substanzen entspringen, hat man schon längst vermutet, weil der darüber liegende Tonschiefer jederzeit Eindrücke von Pflanzen zeigt."

Einen hinreichenden wissenschaftlichen Nachweis dafür, daß die Steinkohlenlager Produkte ehemaliger Vegetationen sind, haben dann aber W. HUTTON (1833) und der Botaniker HEINRICH FRIEDRICH LINK (1838), GÖPPERT u. a. erbracht, indem sie durch mikroskopische Untersuchungen feststellten, daß die echte (Humus-)Steinkohle im Grunde ebenso zusammengesetzt ist wie der Torf, insofern, als es sich bei beiden um eine

Fig. 3. Mikroskopische Ansicht von Holzresten aus oberschlesischer Steinkohle. (Nach LINK).

mehr oder minder gleichmäßige Grundmasse handelt, in der figurierte Teilchen eingebettet liegen, die sich als von pflanzlicher Herkunft erweisen. Das ist leicht nachzuprüfen, was auch später wiederholt geschehen ist, zuletzt (1906) in trefflicher Weise von STANISLAUS KARCZEWSKI und von englischen Gelehrten (JEFFREY, STOPES, HICKLING).

Auch mit bloßem Auge kann man gelegentlich in der Kohle Skulpturen erkennen, die die Oberflächen unterirdischer Pflanzenorgane *(Stigmarien)* und von Baumstammoberflächen *(Lepidodendren* und *Sigillarien)* aufweisen. Außerdem findet man in vielen Kohlen, Steinkohlen usw., echt verkohlte Teile wie Holzkohle, die ebenfalls schon dem bloßen Auge die Herkunft von Pflanzen verrät. Diese Holzkohle ist besonders geeignet, dem botanisch-anatomisch Bewanderten schnell und bequem die Pflanzenstruktur zu verraten. Ein Pröbchen davon unter dem Mikroskop gibt in vielen Fällen ohne weiteres (ohne Anwendung von Mazerationsmitteln) genau wie künstliche Holzkohle seine Zusammensetzung aus Pflanzenzellen zu erkennen. Insbesondere fallen Stücke von Stereo-Hydroïden (Tracheïden) auf (Fig. 3). In der Holzkohle der

Digitized by Google

Steinkohle handelt es sich eben um Holzteile vom Gymnospermentypus, also von höheren Pflanzen. Hierzu kommt nun noch das Vorhandensein von Fossilien, wie Blattresten usw., namentlich in unmittelbarster Nähe der Kohlenlager, besonders in den überlagernden („hangenden") Gesteinsschichten, so daß es nach alledem jetzt als jeden Augenblick leicht erweislich feststeht, daß die (Humus-)Steinkohlen pflanzlicher Herkunft sind. Im unmittelbaren Hangenden der Kohlenlager sind die Reste oft so eingebettet, wie wir heute die Pflanzen etwa in einem Herbarium ausgebreitet sehen, so daß dann die Annahme eines weiten Transports ohne weiteres ausgeschlossen ist, und es überhaupt den Eindruck macht, als seien die Objekte so ziemlich an Ort und Stelle eingeschlossen worden.

Das Resultat der mikroskopischen und anderweitigen Untersuchung wäre also, daß die Steinkohlen ein fossiles Humusprodukt sind. Wir können genauer sagen: ein fest gewordenes, fossiles Humusprodukt, das ganz überwiegend aus hochorganisierten Pflanzen entstanden ist.

Nach LINK, dessen kleine Arbeit vielfach übersehen wurde, haben GÖPPERT (1848) und GÜMBEL (1883) noch besonders viel zitierte umfangreichere Schriften über denselben Gegenstand geliefert und darin u. a. durch makro- und mikroskopische Untersuchungen von Steinkohlen in diesen Reste von Pflanzen nachgewiesen. In neuester Zeit haben sich besonders die Engländer dieses Studiums angenommen (STOPES und WHEELER 1918, HICKLING 1917) sowie WHITE, THIESSEN und JEFFREY in Nordamerika, dessen Präparationsmethoden mustergültig sind, seine Resultate dagegen zum Teil anfechtbar.

Die nächste, schon im vorangehenden gestreifte Frage geht nun dahin, in welcher Weise sind die Pflanzenanhäufungen, die wir heute als Kohlenlager in der Erdkruste finden, zustande gekommen?

LINK, von dem wir auch in diesem Punkte ausgehen wollen, sagt darüber folgendes (1838, p. 33): „Zwei Meinungen über den Ursprung der Steinkohlen und Braunkohlen sind in den neueren Zeiten herrschend geworden und haben alle übrigen, wie es scheint, mit Macht unterdrückt; zwischen beiden ist der Sieg unentschieden geblieben. Die eine hält die Steinkohlenlager für Anhäufungen von Baumstämmen, aus entwurzelten Wäldern entstanden, und durch große Ströme zusammengeschwemmt; die andere hält sie für den Torf der Urwelt."

Danach kann man unterscheiden: 1. die Anschwemmungs-(Transport-)Theorie und 2. die Moortorf-Theorie.

Der schon genannte Domherr zu Hildesheim, VON BEROLDINGEN, sagt z. B., er werde „gleichsam mit Gewalt auf den Gedanken gerissen, daß die Steinkohlen ebenfalls größtenteils aus dem Pflanzenreiche herstammen, und daß sie ursprünglich nichts anderes, als durch besondere Vorfälle, vorzüglich durch Überschwemmungen, mit verschiedenen und oft häufigen Erdlagen zugedeckte, zuweilen Dammerde, zuweilen Bäume

Digitized by Google

und am gemeinsten aber überschwemmte und mit Erdreich bedeckte Torfmoore seyn, die durch die Arbeiten der Natur endlich in Steinkohlen umgeformt worden" seien.

Um noch einige andere Autoren zu nennen, sei auch hingewiesen auf DE LUC, der vermutete, „daß die Steinkohlen aus dem Torf entspringen", dann auf den hervorragenden Botaniker ADOLF BRONGNIART, der die Moortorftheorie vertrat. Auch die verdienstvollen Paläobotaniker UNGER, GÖPPERT und HEER hingen der Torftheorie an.

Eine für ihre Zeit ausgezeichnete, wahrhaft wissenschaftliche Darstellung findet sich in CARL FRIEDRICH NAUMANNS Geognosie (II, 1854, p. 513—580). Er sagt (p. 576) u. a., „daß den meisten und ausgedehntesten Flötzen ihr Material durch eine Vegetation in situ geliefert worden" sei. Hatte doch der gute Moorkenner L. LESQUEREUX 1852 den großen Moorsumpf, den „Dismal swamp", an der Grenze Nord-Carolinas und Virginiens für ein „Steinkohlenbecken im Embryonalzustand" erklärt.

Uns heute unbegreiflich, wurde übrigens auch der echte Landtorf als zusammengeschwemmt, und zwar aus Meerespflanzen, angesehen. Gab doch kein Geringerer als A. v. HUMBOLDT (1792) Veranlassung zu der noch wiederholt aufgetretenen Behauptung, daß im Linumer Moor, von dem Berlin seinerzeit die Hauptmasse seines Torfbedarfes bezog, Meerestangreste vorkämen. A. v. CHAMISSO (1822) jedoch fand nur Reste von *Arundo phragmites* (= *Phragmites communis*), *Eriophorum*, *Carex*, Samen von *Menyanthes trifoliata* und von *Scheuchzeria palustris* usw., also von Pflanzen, die die Vegetation unserer Moore bilden. Später hat dann CHAMISSO (1824) auch das Moorgelände bei Greifswald untersucht, von dem er sagt: „Man möchte, . . . erwarten, dieses Torflager werde sich als ein Meermoor erweisen, in welchem man *Zostera marina*, Tange und andere Seeprodukte, als Zeugen seiner Entstehung entdecken müßte." Allein, er fährt fort: „Der Torf dieses Moores enthält, gleich dem Linumer Torf, nur Land- und Sumpferzeugnisse, und nichts, was im entferntesten an das Meer, unter dessen Niveau er vorkommt, erinnern könnte."

Noch vor der Mitte des vorigen Jahrhunderts hielt man es für nötig, diejenigen Autoren ausführlich zu widerlegen, die sich gegen die Entstehung des Torfes an Ort und Stelle aus den Pflanzen der Torfmoore ausgesprochen hatten. Gleichzeitig mit CHAMISSO haben DAU (1823) und später WIEGMANN (1837) solche oft sehr merkwürdige und uns jetzt unglaublich erscheinende Ansichten vorgeführt und kritisiert. Da ist es gewiß nicht verwunderlich, wenn wir uns hinsichtlich der vertretenen Theorien über die Entstehung der Steinkohlen gegenwärtig noch auf dem Standpunkte befinden, auf dem die Autoren im Anfange des vorigen Jahrhunderts sich den Torfmooren gegenüber befanden, deren Entstehung doch — meinen wir jetzt — so leicht zu erkennen ist.

Digitized by Google

Die Termini Autochthonie (vom Griech. *αυτος* = derselbe und *χθων* die Erde, d. h. bodeneigen) für die Bildung der Kohle an Ort und Stelle, da wo die Pflanzen, aus denen sie entstand, wuchsen, und Allochthonie (vom Griech. *αλλος* = ein anderer und *χθων* = die Erde, d. h. bodenfremd) für die durch Transport hervorgegangenen Kaustobiolithe wurden von GÜMBEL (1883) eingeführt. In Fortsetzung dieser Nomenklatur hat dann OTTO KUNTZE (1877 u. später) einen pelagochthonen (vom Griech. *πελαγος* = das Meer) Ursprung der Steinkohlen behauptet, d. h. entstanden aus schwimmenden Wäldern, die nach ihrem Absterben auf den Grund eines „salzfreien Urmeeres" gesunken seien.

Durchblättern wir die heutige Literatur, so sehen wir, daß der oben angeführte Satz LINKS von 1838 noch heute oder heute wieder Geltung hat. Sieht man unsere Lehrbücher der Geologie durch, so findet man, daß ein Teil derselben zur Theorie der Allochthonie, ein anderer zu der der Autochthonie hinneigt, wieder andere schwanken zwischen beiden hin und her. Wenn der Gedanke, daß die Allochthonie bei der Bildung der Steinkohle die Hauptrolle spiele, heute noch immer so weit verbreitet ist, trotzdem die Autochthonie so bestechend nahe liegt, so sind insbesondere die Arbeiten von zwei französischen Autoren, C. GRAND'EURY (1882 u. 1887) und FAYOL, die freilich jetzt auseinandergehen, hierfür maßgebend gewesen. Namentlich in Lehrbüchern haben die Ansichten der beiden Genannten weitgehende Beachtung gefunden, was auch begreiflich ist, da diese beiden Autoren unter die Vielen gehören, die über den Gegenstand geschrieben, aber zu den Wenigen gehören, die mit Kenntnissen ausgestattet, in Steinkohlenrevieren selbst eingehend beobachtet haben. Allerdings hatten sie sich dadurch insofern zu sehr beschränkt und sich den weiteren Blick verbaut, daß sich ihre Auseinandersetzungen nur oder doch vorwiegend auf Beobachtungen im Revier von St. Etienne (GRAND'EURY) und im Revier von Commentry (FAYOL) bezogen, d. h. in Binnenbecken, in denen die Verhältnisse auch in Deutschland schwieriger liegen als in den paralischen. Es fehlen die vergleichenden Beobachtungen in ausreichendem Maße, die im Einzelfalle undeutlicher erscheinende und daher leicht falsch zu deutende Tatsachen aufzuklären imstande sind, ebenso wie bei den genannten sonst so beachtenswerten Autoren und anderen (so z. B. auch bei RENAULT) zu vermissen ist, daß sie sich nicht zunächst über die Genesis der rezenten Humusbildungen und Kaustobiolithe überhaupt eine hinreichende Kenntnis verschafft haben, wozu allerdings Frankreich kaum ein geeignetes Land war. GRAND'EURY hat diesen Mangel übrigens ausgeglichen. Er hatte die Freundlichkeit mir unter dem 9. Juli 1903 zu schreiben, daß er sich nunmehr überzeugt habe, daß wenigstens ein Teil der Steinkohlen- und Braunkohlenlager autochthon sei. In seinem letzten Werk (1913) bekennt er sich rückhaltlos als An-

Digitized by Google

hänger der Autochthonisten; man muß bewundern, daß dieser erfahrene, unermüdliche Forscher noch im späten Lebensalter umgelernt hat. Ich erwähne noch das Resultat FAYOLS (1888). Er hält die Steinkohlen von Commentry für eine durch reißende Wasser bewirkte Anschwemmung von Pflanzenmaterial in einen See. Er spricht von der „Deltatheorie", die nun zu weit auch auf andere Fälle übertragen wird. Eine Kritik biete ich weiter hinten[1]).

Ich habe mit diesen wenigen Zeilen nun aber durchaus nicht etwa die Absicht, einen auch nur annähernd erschöpfenden Überblick über die Geschichte unserer Frage zu geben. Dazu würde ein Eingehen auf alle Arbeiten nötig sein, die ohne viel Methodik wissenschaftlichen Arbeitens auf dem Gebiete zutage traten.

Die ganz überwiegend große Zahl der Arbeiten über die Entstehung der fossilen Kaustobiolithe zeugt davon, daß auch die elementarsten, leicht zu beobachtenden Tatsachen, die bei der Entscheidung der Frage den Ausschlag geben, vielfach gänzlich unbekannt oder doch sehr ungenügend bekannt sind. Immer und immer wieder sieht man, wie die Autoren von ganz einseitigen Gesichtspunkten aus an die Beurteilung unserer Frage herantreten, ohne sich hinreichend zu bemühen, das gesamte dahin gehörige Material zu prüfen und ohne das, was schon geleistet ist, zu kennen und gebührend zu beachten. GOETHE sagte: „Der Dilettant überspringt die Stufen, beharrt auf gewissen Stufen, die er als Ziel ansieht, und hält sich berechtigt, von da aus das ganze zu beurteilen, hindert also seine Perfektibilität." Es sei zur näheren Erläuterung nur an zwei Beispiele erinnert, die sich aber sehr stark vermehren ließen.

Noch 1866 (1. Aufl.) und 1875 (2. Aufl.) war es möglich — also lange nach LINK und anderen, die über die mikroskopische Struktur der Steinkohle bereits die notwendigen Aufschlüsse gegeben hatten, — daß KARL FRIEDRICH MOHR, Professor der Chemie an der Universität in Bonn, in seiner „Geschichte der Erde" die Entstehung der Steinkohle aus Tangen (nämlich *Fucaceen*) behaupten konnte, welche Ansicht sich dann noch in ganz neue Bücher und Abhandlungen hineingeschleppt hat! Wie bei den Autoren auch sonst, tut sich bei MOHR durchaus ein weitgehender Mangel an Kenntnis der heutigen Moorbildungen kund, obwohl er von ihnen spricht. Es berührt eigentümlich, wie ein sonst so trefflicher Gelehrter — wir verdanken ihm die Methode der Maßanalyse — sobald er sein Spezialfach verließ, so sehr die Prinzipien außer acht lassen konnte, ohne deren Befolgung wissenschaftliche Resultate nicht zu erreichen sind. Wenn schon eine Anzahl Tatsachen zu dem Ge-

[1]) Unter dessen liebenswürdiger und weit entgegenkommender Führung habe ich das Kohlenfeld von Commentry, das Feld seiner Untersuchungen, besichtigt. (Pot.)

Digitized by Google

danken verleiten können, daß vielleicht Tange die Hauptbildner der Steinkohle seien, so fehlt doch bei MOHR die ruhige Abwägung und Aufsuchung solcher Tatsachen, die gegen seine vorgefaßte Meinung sprechen. In Chemikerkreisen ist noch ganz neuerdings versucht worden, die Tangtheorie wieder zu Ehren zu bringen. Das wirft ein betrübendes Licht auf die Zusammenhanglosigkeit der naturwissenschaftlichen Disziplinen.

Wenn ferner ein Botaniker und Algologe noch 1881 (P. F. REINSCH) auf Grund des Studiums der Mikrostruktur der Steinkohle zu dem Ergebnis kommt, daß kleine, mit rezenten Pflanzentypen nicht vergleichbare Pflanzen, die er *Protophyten* nennt, ihre Zusammensetzung ausmachten, so ist es doch gewiß sehr überraschend, daß solche „Resultate", die der gründlich Vorgebildete sofort als wertlos erkennt, doch Berücksichtigung, ja überhaupt häufige Erwähnung finden und so als Literaturballast weitergeführt werden.

Um schließlich auch noch die heutige Zerfahrenheit auf unserem Gebiet durch ein drittes Beispiel zu erläutern, sei erwähnt, daß F. RIGAUD (1894) und LENIQUE gar 1903 zu dem Schlusse kommen, die Steinkohle habe durchaus keinen organischen Ursprung, und noch 1909 hat ein Autor (A. T. FRASER) die vulkanische Herkunft der Kohle behauptet. Vergl. auch das Historische zum Petroleum hinten Gesagte. Nach MEYDENBAUER (1906) haben gewaltige meteorische Einschläge auf der Erde fabelhafte Sturzwellen erzeugt, die die Vegetationen bedeckten. Trotz dieser Anschauungen war das Tatsachenmaterial schon in der Mitte des vorigen Jahrhunderts so weit geklärt, daß NAUMANN (1854, p. 579—580) mit Recht von der Moortorf-Theorie sagen durfte: „Diese Ansicht, daß die Steinkohlenflötze aus vorweltlichen, torfmoorähnlichen Pflanzenschichten entstanden sind, ist . . . . wiederum zu Ehren gekommen und zu einem solchen Grade der Wahrscheinlichkeit erhoben worden, daß sie wohl nicht wieder durch eine andere Ansicht verdrängt werden dürfte". Durch die Unkenntnis der Autoren von dem bereits auf unserem Gebiet Erworbenen und seiner unrichtigen Einschätzung, konnte dann aber F. TOULA viel später (1888) wieder zu der Ansicht kommen, es scheine sich „das Züngelchen an der Wage etwas gegen die Seite jener hinneigen zu wollen, welche dem Transport das Wort reden". Aber in Berücksichtigung der heutigen Literatur sagt KARL ALFRED ZITTEL ebenso zutreffend in seiner Geschichte der Geologie und Paläontologie (1899): „Ob die Steinkohlenflötze autochthon oder allochthon sind, läßt sich nach dem jetzigen Stand der geologischen Literatur nicht mit Bestimmtheit beantworten". Der Grund dafür liegt, wie wir sahen, klar auf der Hand. Die Vergleichspunkte, die die Moore der Gegenwart mit den Steinkohlenlagern bieten, sind bisher immer nur ganz oberflächlich oder doch nur in Einzelheiten herangezogen worden. Es fehlte

Digitized by Google

den vielen Autoren, die über unseren Gegenstand geschrieben haben, eine hinreichende Kenntnis der Naturgeschichte der heutigen Moore, die noch erst genauer aufzuklären war. Es ist daher verständlich, daß niemals der Versuch gemacht worden ist, im Hinblick auf die Steinkohlenlager das in genügender Ausführlichkeit aus der Moorkunde zusammenzustellen, was für die Annahme ihrer Autochthonie zu berücksichtigen wäre. Diese Lücke zu füllen, wird in dem vorliegenden Buche der Versuch gemacht. Die Moorkunde und was mit ihr näher zusammenhängt, hat in den letzten Jahrzehnten endlich die nötige Aufmerksamkeit und daher Förderung erfahren. Wir sind also jetzt wohl in der Lage, eine Übersicht zu gewinnen und erachten den Zeitpunkt eines Vergleiches mit den Steinkohlenlagern für gekommen.

Die p. 2 angedeutete Klassifikation der Kaustobiolithe stammt vom Verfasser. Ein besonderes Hindernis, vorwärts zu kommen, war, daß der Faulschlamm nicht klar vom Humus (vom Torf) unterschieden wurde. Dennoch war man sowohl hinsichtlich der Urmaterialien als auch der chemischen Vorgänge bereits auf dem richtigen Wege. Ich finde z. B. über einen auch vielfach als „Braunkohle" bezeichneten Sapropelit der Tertiärformation, den „Dysodil", bei TASCHE (1853) folgende Angabe: „Der Dysodil dürfte ein Erzeugniss von mikroskopischen Algen und Schlamminfusorien seyn", wobei unter *Infusorien* natürlich nicht nur die Mikroorganismen zu verstehen sind, die wir heute allein damit bezeichnen, sondern noch eine Anzahl anderer, wie *Diatomeen* u. dergl. Der Chemiker M. H. KLAPROTH hat aber schon 1807 (!) trefflich den Unterschied zwischen seinem „neuen brennlichen Fossil aus Ostpreußen" (nämlich subfossiles Sapropel = Saprokoll) und dem Torf begründet. Seine Anschauungen sind aber wenig beachtet worden und schnell in Vergessenheit geraten. Die Schuld daran trägt wohl zum guten Teil der Umstand, daß es sich um eine nur wenig umfangreiche Arbeit handelte, und daß KLAPROTH dem neuen Kaustobiolith keinen besonderen Namen gegeben hatte, der in den mineralogischen Lehrbüchern aufgenommen und so vor Vergessenheit bewahrt werden konnte. Man hatte daher nicht gemerkt, daß auch die fossilen Kohlen in zwei Gruppen zu bringen sind, in Humuskohlen und Sapropelkohlen. So konnte noch C. EG. BERTRAND in unserer Zeit über die Genesis der Kohlen von Boghead-Cannelkohlentypus (das sind nämlich Sapropelkohlen) zu der Ansicht kommen, daß zunächst ein Niederschlag von gelöst gewesenem Humus stattgefunden habe, der die braune homogene Humussubstanz der Kohlen lieferte. Sodann seien figurierte Pflanzenteile (wie Algen als Algen-Wasserblüte, Sporen und Pollen als Schwefelregen und andere hinzugedriftete Pflanzenteile) und Tiere mit ihren Exkrementen hinzugekommen, die in dem Niederschlag eingebettet sich dort um so besser figuriert hätten erhalten können, als nun drittens eine „bituminöse"

Digitized by Google

Infiltration des Ganzen stattgefunden habe, die BERTRAND annimmt, um die chemischen Eigenschaften der Gesteine, die in dieser komplizierten Weise entstanden sein sollen, zu erklären, die ja als „Öl-Schiefer" usw. Bitumina liefern. Es ist interessant, daß auch bezüglich der Torfe früher eine Durchtränkung mit Bitumen angenommen wurde. Bei der Vorführung der älteren Theorien über die Torfbildung sagt nämlich u. a. DAU (1823, p. 15): „Endlich soll nach der meisten Meinung ein Bergöl oder Erdharz diese vegetabilische Masse durchdrungen und dadurch brennbar gemacht haben". In der Geschichte der Torfkunde hat also ebenso wie bei den Steinkohlen nicht bloß die Tangtheorie eine Rolle gespielt.

Eine sehr eingehende Darstellung der geschichtlichen Seite unseres Stoffes findet man in STEVENSONS Formation of coal-beds (1911—13), der auch die amerikanische Literatur in weitgehendstem Maße berücksichtigt.

Wir sehen, daß kritisch gewonnene, für unsere Frage ausschlaggebende Tatsachen auf die jeweilige Tageswissenschaft keine hinreichende Wirkung ausgeübt haben, namentlich wenn sie äußerlich anspruchslos aufgetreten sind. Mehr Ausschlag gegeben hat der Umfang der einzelnen Schriften. „Jede neue Ansicht — sagt CHARLES DARWIN (Biographie I, p. 76) — muß in ziemlicher Ausführlichkeit mitgeteilt werden, um die öffentliche Aufmerksamkeit zu erregen." Es ist sehr bedauerlich, daß auch die Wissenschaft so abhängig von Äußerlichkeiten ist, und daß hier noch keine Wege gefunden sind zu einer Loslösung von ihnen. Dann wären wir in unserer Frage schon lange viel weiter gekommen.

Zersetzungsprozesse

Zu einer ausgiebigen Beantwortung unserer Frage dürfen wir uns nicht auf eine vorausgehende Betrachtung der Moor-Bildungen allein beschränken. Es ist vielmehr unerläßlich, sich ganz generell zu vergegenwärtigen, wo und unter welchen Bedingungen in der Gegenwart überhaupt Kaustobiolithe erzeugt werden, womit sich die notwendige Vorfrage nach den Vorgängen verknüpft, die sich nach dem Absterben der Organismen in den organischen Substanzen abspielen. Auf diese Vorfrage gehen wir daher zunächst ein.

Wir unterscheiden: Verwesung, Vermoderung, Vertorfung und Fäulnis.

Unter Verwesung wollen wir eine Zersetzung von organischem Material verstehen, bei der nichts Festes zurückbleibt, also keine festen, kohlenstoffhaltigen Verbindungen, keine Produkte, die irgendwie

Digitized by Google

z. B. ein Kohlenlager zu bilden imstande wären, bei der also alles in gasförmige und nichts in dauernde kohlenstoffhaltige, flüssige oder feste, brennbar bleibende Produkte übergeht. Es entsteht vielmehr Kohlendioxyd, Wasser usw.

Jedoch gibt es brennbare, von den Organismen erzeugte Stoffe, die sich sehr schwer, jedenfalls auch unter den günstigsten Umständen sehr viel schwerer zersetzen als die übrigen Stoffe, die die Organismen bilden, wie z. B. Zellulose, Protoplasma u. dergl. Zu diesen den üblichen Verwesungs-Bedingungen sehr viel länger widerstehenden Stoffen gehören u. a. Harze, Wachsharze u. dergl., die daher allein zurückbleiben (Liptobiolithe) im Gegensatz zu den aus nicht so vollständiger Zersetzung entstehenden Kaustobiolithen, die aus Landpflanzen einschließlich der Sumpfpflanzen (Humusgesteinen) hervorgegangen sind. Wenn die Materialien freilich keine kaustobiolithischen in der angedeuteten Weise haltbaren Bestandteile enthalten, kann natürlich kein Liptobiolith entstehen, d. h. nicht alle brennbaren organogenen Teile sind geeignet, einen Liptobiolith zu hinterlassen.

Unter dem Prozeß, den wir als Vermoderung bezeichnen, wollen wir die Zersetzung unter nicht hinreichendem Sauerstoffzutritt verstehen, so daß eine vollständige Zerlegung in Wasser, Kohlendioxyd usw. nicht stattfinden kann, sondern so, daß immerhin ein geringer kohlenstoffhaltiger, fester Rest zurückbleibt. Wir nennen speziell die festen Humusprodukte, die wegen der nicht genügenden Sauerstoffzufuhr zurückbleiben, Moder. Wir erblicken ihn in feuchten Wäldern auf dem Boden. Er gibt den Parkböden die schwarze Färbung und bildet unter Umständen dicke Lager.

Ein sehr häufiger Zersetzungsvorgang ist die Vertorfung. Hierunter versteht man die Zersetzung der organischen Bestandteile zunächst in derselben Weise wie bei der Bildung des Moders, also unter Zutritt von Sauerstoff, aber doch nicht dauernd unter genügendem Zugang dieses Elements. Da nun aber in den Mooren, die gerade dem Vertorfungsprozesse unterliegen, das Pflanzenwachstum so fortschreitet, daß eine Anhäufung von Humus (hier Moortorf genannt) dadurch stattfindet, daß die neuen Pflanzengenerationen immer auf den in Zersetzung begriffenen Teilen ihrer Vorfahren emporsprießen, so wird dadurch ein immer weiter gehender Abschluß für die in Zersetzung begriffenen Bestandteile und schließlich ein völliger Luftabschluß erreicht, was die Hauptbedingung für den vierten Prozeß, den wir zu unterscheiden haben, ist — den Prozeß der Fäulnis.

Es ist für uns gleichgültig, ob für andere Zwecke der Begriff der Fäulnis besser anders zu definieren sein würde. Wir wollen — im Anschluß an Liebig — als Fäulnis die Zersetzung organischen Materials unter völligem Luftabschlusse verstehen. In der Natur sind die ge-

Digitized by Google

nannten Prozesse selbstverständlich fast niemals völlig rein vorhanden, sondern gehen ineinander über und durchkreuzen sich.

Bei den beiden Prozessen der Vermoderung und Vertorfung wird also Moder und Torf erzeugt. Da hierbei eine Anreicherung an Kohlenstoff stattfindet, würden wir schließlich Produkte erhalten, deren fortschreitende Zersetzung man von der p. 7 schon kurz erwähnten Verkohlung unterscheidet. Man spricht deshalb hier zweckmäßig mit GÜMBEL von einer Inkohlung.

Bei der Verkohlung entsteht meist verhältnismäßig rasch das Element Kohlenstoff, und zwar kommen als Ursachen für die Bildung von Kohlenstoff (Holzkohle usw.) in der freien Natur in Betracht

1. die Dehydratisierung, etwa durch Schwefelsäure, die ja in manchen natürlichen Gewässern vorhanden ist,
2. die Selbstentzündung und
3. das Anbrennen organischer Substanz, etwa veranlaßt durch Blitzschlag.

Bei der Inkohlung handelt es sich jedoch um eine langsame Zersetzung, die wesentlich eine Selbstzersetzung ist, während im Beginn der Zersetzung an dieser wohl fast immer auch lebende Organismen, wie u. a. Bakterien mitarbeiten. Steinkohle ist also kein Kohlenstoff, abgesehen von den etwaigen untergeordneter vertretenen Holzkohlenteilen, sondern ein Gemenge wesentlich von festen Kohlenwasserstoffverbindungen. Es ist wohl zu beachten, daß die eigentlichen, echten, fossilen „Kohlen" zum Schmelzen gebracht werden können, sich dabei aufblähen und daher als Rest beim Erhitzen unter Luftabschluß den porösen Koks (d. h. Kohlenstoff + Asche) ergeben, daß ferner manche Kohlen sich in gewissen Mazerationsflüssigkeiten vollständig lösen lassen, was beides mit Kohlenstoff nicht möglich ist.

Von der Inkohlung ist zu unterscheiden die Bituminierung. Die Materialien, die diesem Prozeß in unserem Sinne unterliegen, sind die, die das Sapropel bilden. Es soll damit gesagt sein, daß auch die ursprüngliche chemische Beschaffenheit des der Inkohlung anheimfallenden Materials mit in Betracht kommt. Denn handelt es sich um Tiere und echte Wasserpflanzen, unter diesen z. B. um ölführende Algen, die sich in chemischer Hinsicht wegen ihres starken Fett- und Proteïngehalts den Tieren nähern, so wird durch die Fäulnis nicht ein so ausgesprochener Inkohlungsvorgang eingeleitet, sondern es findet eine Bituminierung statt, wie ich im Gegensatze zur Inkohlung die stärkere Erzielung von solchen Produkten (Bitumina) nenne, die wasserstoffreicher sind als die echten Kohlen. Bitumengehalt eines Kaustobioliths bedeutet seinen Gehalt an destillierbaren Stoffen, deren Menge in dem Teerquantum und brennbaren Gas zum Ausdruck kommt.

Digitized by Google

Wenn auch die Zersetzung da, wo Mangel an Sauerstoff herrscht, sehr weitgehend zurückgehalten wird, so hört doch eine weitere, freilich sehr langsam vor sich gehende Zersetzung selbst dann nicht auf, wenn ein Zugang von Sauerstoff gänzlich ausgeschlossen ist. Dann erfolgt vielmehr eine sehr langsame Selbstzersetzung, die sich u. a. durch die Entwickelung von Kohlendioxyd, ferner von Methan und durch die Bildung von Wasser anzeigt. Sie ist bei der Bituminierung dadurch charakterisiert, daß der Sauerstoffgehalt des Kaustobioliths mehr und mehr abnimmt, der Wasserstoffgehalt jedoch — und das ist besonders wichtig — so gut wie ständig gleich bleibt. Dadurch entstehen relativ wasserstoffreiche, feste Kohlenwasserstoffe, d. h. Gesteine, die man als besonders bituminös zu bezeichnen pflegt. Die Inkohlung weicht also dadurch von der Bituminierung ab, daß bei ihr nicht nur der Sauerstoffgehalt, sondern auch der Wasserstoffgehalt allmählich abnimmt.

Von diesem chemischen Standpunkte aus ist kurz zu sagen: Wo die Kohlenhydrate überwiegen, entsteht Humus, — wo Stoffe, wie Proteïne, Fette, Chitin usw. überwiegen, entsteht Sapropel, — wo Wachs, Wachsharz, Harz und Cutin, auch Pektin reichlicher vorhanden sind, so daß trotz der Verwesungseinflüsse diese schwer zersetzlichen Verbindungen zurückbleiben können, entstehen Liptobiolithe.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Zersetzungsprozesse und die resultierenden rezenten Kaustobiolithe.

	Bezeichnung der Prozesse	Verhalten des O	Verhalten des H_2O	Es handelt sich kurz		Entstehende Gesteine	
Prozesse, denen besonders Land- und Sumpfpflanzen ausgesetzt sind:	Verwesung, sie findet statt . . .	bei voller Gegenwart von O	und Vorhandensein von Feuchtigkeit	um eine vollständige Oxydation		Es bleiben keine brennbaren C-haltigen Produkte zurück, unter Umständen höchstens Liptobiolithe	
	Vermoderung, sie findet statt . . .	bei Gegenwart von weniger O		↕	Inkohlung	Feste Verbindungen, die C-reiche Kohlenwasserstoffe ergeben	Moder
	Vertorfung, sie findet statt . . .	zunächst bei Gegenwart, sodann bei Abschluß von O . . .	und zunächst bei Gegenwart von Feuchtigkeit, sodann in stagnierendem H_2O	wesentlich um Destillationen: Reduktionen			Torf — Humus
Prozeß, dem besonders die echten Wasser-Organismen ausgesetzt sind:	Fäulnis, sie findet statt . . .	bei Abschluß von O . . .	und in stagnierendem H_2O		Bituminierung	Feste Verbindungen, die C-ärmere (H-reichere) Kohlenwasserstoffe liefern	Sapropel

Digitized by Google

Heutige Bildungs- und Lagerstätten von Kaustobiolithen

Über die Vorgänge, die die Urmaterialien an die Orte gebracht haben, wo wir jetzt die Kaustobiolithe finden, wurde p. 9 schon der wichtigste Gegensatz zwischen autochthoner und allochthoner (bodeneigener und bodenfremder) Bildung hervorgehoben. Übersichtlich sind zu unterscheiden:

A. Autochthone Kaustobiolithe, d. h. diejenigen, die aus Organismen hervorgegangen sind, die dort lebten, wo wir heute die Kaustobiolithe finden. — Die für uns wichtigsten Unterschiede innerhalb der Autochthonie sind folgende:
   a) Die terrestrische Autochthonie, wenn es sich um Pflanzen handelt, die wesentlich an der Luft leben und an ihrem Standort zu Kaustobiolith werden.
   b) Die aquatische Autochthonie, die in Frage kommt bei den im Wasser lebenden Organismen — vorwiegend Schwebeorganismen —, die nach ihrem Absterben zu Boden sinken und sich dort anhäufen. Dieser Vorgang ist demnach eine Sedimentierung, aber autochthoner Art im Gegensatz zur allochthonen von herbeigeführtem Sand, Ton usw.

B. Allochthone Kaustobiolithe, und zwar sind diese wie folgt zu trennen:
   a) Primär allochthone Kaustobiolithe, d. h. diejenigen, deren Urmaterialien einen Transport erlitten haben und erst an ihrer Ablagerungsstelle zu Kaustobiolith geworden sind.
   b) Sekundär allochthone Kaustobiolithe, d. h. diejenigen, die ursprünglich als Kaustobiolithe zu A oder Ba gehörten und dann umgelagert wurden, also Kaustobiolithe an zweiter Lagerstätte sind. Es ist darauf zu achten, daß es sich bei den primär allochthonen Kaustobiolithen um Material aus gedrifteten lebenden oder im Absterben begriffenen oder eben erst abgestorbenen frischen Lebewesen und Teilen derselben, — bei den sekundär allochthonen Kaustobiolithen hingegen um bereits zu Kaustobiolith gewordenes Material, das umgelagert wurde, handelt.

Sapropelite

Die Bildungs- und Lagerstätten für Sapropelite sind ruhigere Wasserstellen, die durch diese Kaustobiolithe in echte Sümpfe um-

Digitized by Google

gewandelt werden[1]). Küstennahe Stellen bieten ganz besonders oft die für eine Sapropelbildung günstigen Bedingungen, weil hier solche Wasserstellen sehr häufig sind.

In einem in allen Teilen bewegten, Sauerstoff führenden Wasser kann eine Humus- oder Sapropelablagerung nicht zustande kommen, es sei denn, daß die Wassertrübe das organische Material rechtzeitig durch Bedeckung mit mineralischem (insbesondere mit tonigem) Sediment abschließt. In einem stagnierenden Wasser dagegen, das besonders in seinen unteren Partien keinen Sauerstoff enthält, oder dem doch nur geringfügige Mengen davon zugeführt werden, sind die Bedingungen vorhanden, um organisches Material so von der Luft fernzuhalten, daß eine „Fäulnis" stattfinden kann. Wir haben in Norddeutschland Seen, die so weit mit Sapropelit gefüllt sind, daß sie nicht mehr mit Booten befahren werden können. Diese und überhaupt die geeigneten Wasserstellen sind mit organischem Schlamm, d. h. von einem fließenden, organischen Brei erfüllt und infolgedessen völlig unbegehbar. Die wesentlichen Urmaterialien solcher Sümpfe sind echte Wasserorganismen, Fig. 7 u. 8 (S. 25), nicht aber Sumpf- und Landpflanzen, welche die Urmaterialien des Humus, insbesondere des Torfes sind, Fig. 6 (S. 23). Unter den echten Wasserorganismen, die einen organischen Schlamm erzeugen, spielen die mikroskopischen Lebewesen, und zwar in erster Linie die Schwebeorganismen, die Hauptrolle. Sie werden bekanntlich als Plankton zusammengefaßt. Wenn Planktonlebewesen in ruhigen Gewässern vorhanden sind, sinken ihre abgestorbenen Leiber zu Boden und erzeugen hier bei unvollständiger Zersetzung den Faulschlamm, das Sapropel. Faulschlamm kann sich nach und nach viele Meter mächtig anhäufen und zur Verlandung eines Wassers wesentlich beitragen.

An geeigneten Stellen — und diese sind häufig — können die Individuen, die das Plankton bilden, in erstaunlich großer Zahl vertreten sein. Deshalb kommt es bei der Sedimentierung mehr in Betracht als die Reste abgestorbener Fische und anderer größerer, sapropelbildender Organismen. Das wird gemeinhin übersehen. Die Mengen organischen Stoffes, welche die pflanzlichen und tierischen Mikroorganismen und die kleineren Lebewesen erzeugen und welche jahrein jahraus an geeigneten Stellen zu Sapropel werden, genügen vollkommen zur Schaffung der vorhandenen mächtigen Sapropel-Ablagerungen. Bedenkt man noch, daß Mikroorganismen sich sehr viel leichter ansiedeln als Makroorganismen, wie Fische u. dergl., so erhellt daraus die Bedeutung des Planktons für

[1]) Die „echten" Sümpfe (mit unbegehbarem, tiefem Schlamm erfüllte Stellen: Schlammsümpfe) stehen im Gegensatz zu den dauernd nassen, mit wenig tiefem Wasser und daher mit einer Sumpfvegetation bedeckten Geländen, die einen begehbaren Untergrund besitzen. Man könnte diese bequem als Halbsümpfe unterscheiden. Halbsümpfe mit Torfboden sind dann Sumpfmoore.

Digitized by Google

die Faulschlammbildung. Wie sich bei geologischen Studien so oft zeigt, sehen wir auch hier wieder, daß das Kleine und Kleinste, das in seiner Wirkung innerhalb der kurzen Spanne eines Menschenlebens kaum Beachtung zu verdienen scheint, in den Zeiträumen, die die Geologie zu berücksichtigen hat, große Bedeutung gewinnen kann.

Besonders bequem läßt sich eine Vorstellung über die Masse des durch das Plankton geschaffenen organischen Stoffes durch Betrachtung der Algen-Wasserblüte gewinnen. Sie besteht darin, daß das Wasser unter geeigneten Verhältnissen auffallend gefärbt (meist grün) und ganz trübe wird, was auf der massenhaften Produktion kleiner Algen beruht.

Irgend welche Katastrophen oder ihnen mehr oder minder nahe kommende Vorgänge annehmen, um ein plötzliches großes Sterben vieler vorhandener Organismen zu erklären, die das viele vorhandene Sapropel geliefert hätten, kann nur derjenige, der die vorher angedeuteten, alltäglichen Vorkommnisse nicht kennt. Gewiß kann auch einmal eine Katastrophe die Sapropelmasse anreichern, aber das sind Ausnahmeerscheinungen, ebenso wie die Wirkung von H_2S auf das Absterben von Organismen, wie z. B. am Grunde des Schwarzen Meeres, wo — wie an vielen anderen Orten auch — durch das Zusammentreffen sich zersetzender organischer Teile mit den Schwefelverbindungen des Meereswassers durch Reduktion H_2S entsteht.

Wo in ein Gewässer, in welchem Faulschlamm zur Ablagerung gelangt, auch ein nichtorganisches Material, wie Ton oder Feinsand oder gröberer Sand, hineingeführt wird, sei es durch Zuflüsse, sei es durch den Wind, der z. B. in Dünengebieten Sand, oder an anderen Stellen sonstigen Staub, wie Löß, hineinbläst, da entsteht ein aus Sapropel und den erwähnten Zutaten gemischter Schlamm. Das Sapropel kann auch aus anderen Gründen viele nicht brennbare Produkte enthalten, dann nämlich, wenn in einem Wasser, das reich an Kalk oder Kieselsäure ist, Organismen diese Verbindungen zum Niederschlag bringen.

Von Sapropeliten, die in dieser Weise zustande kommen, sind besonders drei Gruppen bemerkenswert, nämlich die Sapropelkalke, die Diatomeenpelite (Kieselgure) und gewisse Schlickarten (Sapropeltone).

Wir kennen eine Anzahl Pflanzen, die den Kalk, der sich im Wasser in Lösung befindet, als Skelettmaterial zu ihrem Aufbau und Halt benutzen. Sie schlagen den Kalk in großen Mengen in sich nieder, wie gewisse Algen des Meeres. Andere Algen, die *Characeen* der Süß- und Brackwässer, und ferner höhere Pflanzen, wie *Potamogeton* usw., haben die Eigentümlichkeit, aus Wasser, welches Kalk in Lösung enthält, diesen an sich niederzuschlagen, der dann den Schlamm mehr oder weniger kalkhaltig macht. Dazu kommen Tiere mit Kalkschalen, wie die Mollusken. Wir erhalten so Kalksapropel. Diese Kalk-

Digitized by Google

sapropele — oder bei reichlicherem Vorhandensein von Kalk: Sapropelkalke — sind zunächst ebenso schlammig wie sonst frischer Faulschlamm. Erst in hohem Alter oder beim Trocknen an der Luft gewinnen sie feste Konsistenz.

Die Diatomeenpelite sind eine besondere Art von Sapropeliten, die in Gewässern entstanden sind, die viel Kieselsäure und wenig oder gar keinen Kalk gelöst enthielten, so daß darin Kieselalgen an Stelle von kalkabsondernden Pflanzen besonders reichlich leben konnten. Die Panzer der *Kieselalgen* haben sich mit den anderen Pflanzen und den abgestorbenen Tieren (*Crustaceen* u. dergl.) auf den Boden gesenkt und sind zu einem Gestein geworden, das nun besonders reich an hydratisierter Kieselsäure (Opal) in der Form von Kieselpanzern ist. Kieselgurablagerungen bestehen nicht ausschließlich aus Kieselpanzern, da in dem Wasser nicht nur Kieselalgen gelebt haben. Die Kieselgur muß wegen der in ihr vorhandenen brennbaren kohlenstoffhaltigen Substanz für die Technik durch Ausglühen erst brauchbar gemacht werden. Man häuft sie in lufttrockenem Zustande in Stücken zusammen und brennt sie dann nach der Entzündung, — da überall Luftzutritt geschaffen wird — vollständig weiß. Verhältnismäßig reine Kieselgur kommt in der Natur meist nur dort vor, wo nachträglich Zersetzung und Auslaugung möglich war (Fig. 4.).

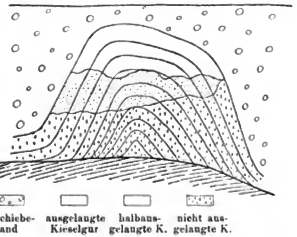


Fig. 4. Profil durch aufgepreßte Kieselgur-Schichten der Lüneburger Heide.

Wo mit der Bildung von Sapropel gleichzeitig eine allochthone Sedimentierung stattgefunden hat, z. B. von Ton, der sich an den ruhigsten Stellen von Gewässern absetzt, die gerade auch der Sapropelbildung günstig sind, da haben wir Tonsapropel oder Sapropelton. Hierher gehören gewisse Schlicke.

Sapropelite heißen alle diese Gesteine (einschließlich des Sapropels selbst), wenn sie so reich an Sapropel sind, daß ihnen dadurch wesentliche Eigenschaften verliehen werden, wobei es gleichgültig ist, ob sie sich noch im Schlammzustande befinden, oder ob sie als subfossil gallertige Konsistenz angenommen haben oder endlich als fossil bereits vollständig erhärtet sind.

Enthalten die Sapropelite eine hinreichende Menge organischer Substanz, so sind sie in lufttrocknem oder in fossilem Zustande ungemein hart und nur durch starke Schläge mit dem Hammer zu zerschlagen, wobei sie muschelig brechen.

Digitized by Google

Humus-Gesteine

Unter Humus versteht man jetzt das aus abgestorbenen Pflanzen oder Pflanzenteilen — ausschließlich der echten, ursprünglichen Wasserpflanzen, die Sapropel bilden — nach ihrer unvollständigen Zersetzung hervorgehende brennbare, braune oder schwarze Material. Da Humus sehr stark färbt, macht z. B. ein nur wenige Prozente Humus enthaltender Sand einen sehr stark humushaltigen Eindruck, ja er kann sogar wie reiner Humus aussehen. Das Volk pflegt bereits solche dunkelgefärbten Bodengesteine, z. B. die Erde der Parkböden, Humus zu nennen. Es ist jedoch daran festzuhalten, daß eben für uns nur das kaustobiolithische Material Humus ist, daß also die gegebenenfalls beigemengten anorganischen Bestandteile nicht dazugehören.

Fig. 5. Granitblock mit Trockentorf-Decke, die an der einen Stelle zurückgeschlagen wurde, so daß hier der nackte Fels zutage tritt. Steinerne Renne im Harz.

Die Urmaterialien für den Humus sind hauptsächlich Landpflanzen, also Organismen, deren oberirdische Teile wesentlich an der Luft leben. Von Wasserpflanzen kommen nur diejenigen in Betracht, die mit den höheren Landpflanzen enger verwandt sind, also solche, von denen angenommen werden muß, daß sie — wie die *Seerosen (Nymphaeaceen)* u. a. — nachträglich wieder zum Wasserleben zurückgekehrt sind. Die hervorragendste Rolle spielen aber die Sumpfpflanzen, die in einem nassen Boden wurzeln; denn die Haupthumusbildungsstätten sind ständig nasse Örtlichkeiten, deren Wasser so ruhig ist, daß die für eine vollständige Verwesung nötige Sauerstoffzuführung verhindert wird. Demnach sind es mehr oder minder stagnierende Wasserstellen, sofern sie flach genug sind, daß Sumpfpflanzen, die hier in Frage kommen, dort wachsen können; oder es sind solche Örtlichkeiten, deren Luftfeuchtigkeit mit ihren Nieder-

Digitized by Google

schlägen hinreicht, um den Boden dauernd vernäßt zu erhalten. Wo diesen Bedingungen genügt ist, entstehen aus den absterbenden Pflanzenmassen mächtige Humuslager, die man als Moore bezeichnet. Der Humus der Moore ist der Moortorf oder kurz Torf.

Es gibt nämlich noch andere Humusarten. Einen Gegensatz zum Moortorf bildet der Trockentorf (der sogen. Rohhumus). Er entsteht — hinreichende Luftfeuchtigkeit vorausgesetzt — auf trockenem Boden, selbst auf Felsblöcken (Fig. 5), von denen auftreffendes Wasser sofort herunterfließt. Ferner sei der Moder genannt (vergl. p. 15). Dieser ist ein in stärkerer Zersetzung als der Torf begriffenes Humusmaterial, das sich z. B. in Wäldern mit gut durchlüftetem Boden und starkem Laubfall

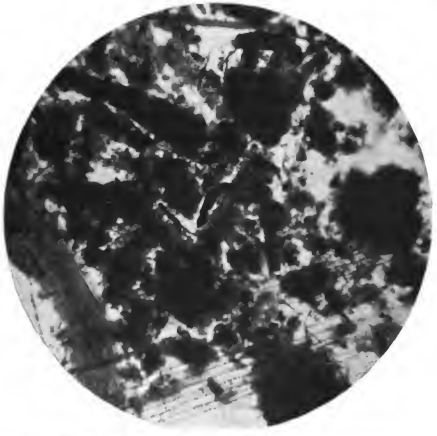


Fig. 6. Mikroskopisches Bild einer Flachmoortorf-Probe.
Unten gehen Gewebefetzen höherer Landpflanzen durch das Bild.

bezw. starker Pflanzenproduktion findet. Bei der Zersetzung bleibt daher hier leicht etwas Humus zurück. Gegenüber dem Torf handelt es sich aber beim Moder um ganz untergeordnete Vorkommen. Wo eine stärkere Bodenbewegung durch regelmäßig grabende Tiere (Regenwürmer, Nagetiere usw.) vorhanden ist, wird der Moder oder auch anderer Humus dem anorganisch-mineralischen Boden beigemengt, wodurch die Humuserde entsteht.

Die den Humus produzierenden Organismen sind allgemein von den Sapropel erzeugenden Organismen in chemischer Hinsicht stark ver-

Digitized by Google

schieden (p. 3). Da bekanntlich die Landpflanzen wesentlich aus Kohlenhydraten bestehen, ist es begreiflich, daß auch ihre Zersetzungsprodukte und die resultierenden Kaustobiolithe von denjenigen, die Sapropel als Grundlage besitzen, abweichen müssen. Es entsteht Humus oder fossiler Humus, nämlich Humus-Braunkohle und Humus-Steinkohle, die schon durch ihren weit geringern Gasgehalt von den Sapropeliten abweichen. (Vergl. auch vorn p. 16 über „Bituminierung").

Humusgesteine, mögen sie rezent sein oder paläozoisches Alter haben, sind im Gegensatz zu Sapropeliten mechanisch leicht angreifbar. Selbstverständlich gibt es Übergangsbildungen; denn wo Torf entsteht, kann sich z. B. während der Überschwemmungen auch Sapropel bilden. Dann ergibt sich ein gemischter Kaustobiolith, wie er häufig auch fossil in der Streifenkohle vorliegt, deren Glanzkohlenstreifen dem Torf und deren Mattkohlenstreifen oft dem Sapropel entsprechen.

Unter dem Mikroskop zeigen die Humusgesteine — gleichgültig ob sie rezent, subfossil oder altfossil sind — in einer flockigen, sonst homogenen Grundmasse eingebettet figurierte Bestandteile, die sich für den botanisch-anatomisch Bewanderten sehr leicht als von höheren Landpflanzen herstammend herausstellen (s. Fig. 6).

Ganz anders ist es bei den Sapropeliten, bei denen es natürlich ebenfalls gleichgültig ist, ob sie rezent, subfossil oder alt, etwa karbonisch, sind. Hier erblickt man übereinstimmend unter dem Mikroskop, sofern in der homogenen Grundmasse noch geformte, von den Organismen herrührende Bestandteile zu erkennen sind, solche von echten Wasserorganismen: mikroskopische Algen, kleine Krebse u. dergl. (s. Fig. 7, 8 und 9).

Unter den Produkten der Humusbildung sind gewisse in Wasser löslich (man nennt diese löslichen Humusstoffe meist „Humussäuren"). Diese werden gern von Bächen und Strömen fortgeführt. Es ist angenommen worden, daß aus solchen Wässern, den „Schwarzwässern", durch Niederschlagen der löslichen Humusstoffe, die Steinkohlen sich gebildet hätten. Schwarzwässer sind in Brasilien häufig (der Rio Negro hat von der dunklen Farbe seinen Namen), in Schottland (Bäche und Seen), in vielen Teilen Deutschlands usw. können sie beobachtet werden. Auch der Kongo gehört zu den Schwarzwässern usw. Auf ihrem Wege zum Meere und in diesem zersetzen sich die organischen Bestandteile. Es bleibt schließlich — populär gesprochen — „Nichts" oder so gut wie Nichts übrig. Beobachtet sind erhebliche Ablagerungen von löslichen Humusstoffen und deren „Verbindungen" nicht. Nur untergeordnet kommen sie vor, wie in Torfen der Dopplerit (benannt zu Ehren von DOPPLER), ebenso wie die verkittende Substanz des Humus-„Ort".

In dem Dopplerit handelt es sich um eine in bergfeuchtem Zustande fest-gallertige, homogene Humusmasse. Sie füllt in Torflagern

Digitized by Google

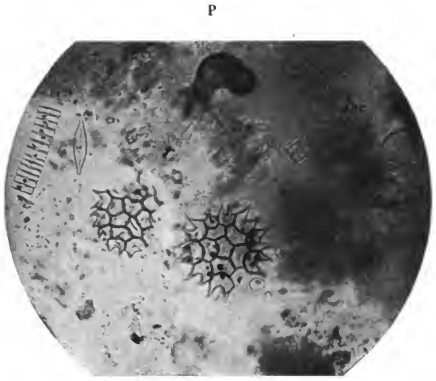


Fig. 7. Mikroskopisches Bild von Sapropel (aus dem Ahlbecker Seegrund bei Ludwigshof in Pommern) mit mehrzelligen Algen (*Pediastrum*), bei D *Diatomaceen*-Schalen, bei P Pollenkorn von der Kiefer (*Pinus silvestris*).

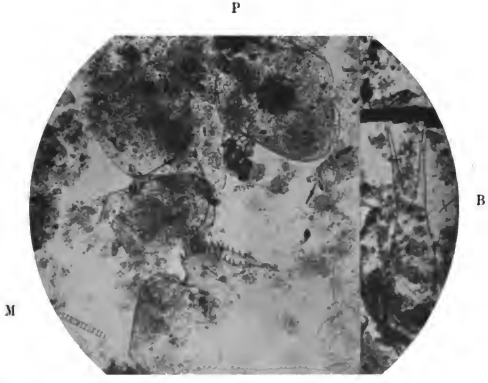


Fig. 8. Mikrophotogramm von Sapropel (derselben Herkunft wie Fig. 7); (ca. 75fache Vergrößerung). Namentlich Kleinkrebsreste: B = Kopfstück einer *Bosmina*, P = Panzerreste von *Cladoceren*, außerdem *Pediastrum*, *Melosira* (M) und *Pinus silvestris*-Pollen (über dem Zentrum des Bildes).

Digitized by Google

namentlich Spalten aus, in denen der Niederschlag der gelöst gewesenen Humusstoffe erfolgt ist.

Der Humus-Ort entsteht in der folgenden Weise (Fig. 10). Wo eine Vertorfung eingetreten ist, wird der Mineralboden unter dem Torf (häufiger Trockentorf als Moortorf) durch das Eindringen von löslichen Humusstoffen mehr oder weniger stark entfärbt, infolge der Auflösung (Auslaugung) leichter löslicher mineralischer Bestandteile (Eisen- usw. Verbindungen), die tiefer geführt sich dort zusammen mit dem Humus wieder ausscheiden. Es bildet sich so eine „Orterde" (bei noch erdiger Beschaffenheit). Bei uns speziell handelt es sich, da in derselben Zone auch die löslichen Humusstoffe zum Niederschlag kommen, um Humusorterde oder, wenn die gefällten Humusstoffe die Gesteinspartikel miteinander verkitten, um Humusortstein.

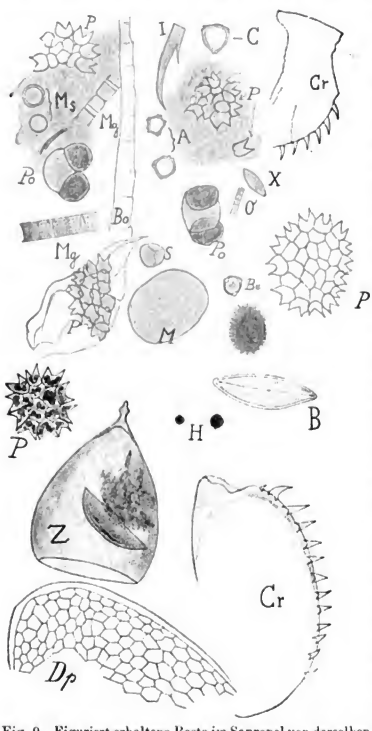


Fig. 9. Figuriert erhaltene Reste im Sapropel von derselben Herkunft wie Fig. 7 und 8 (in $\frac{220}{1}$). Algen: B, Ms, Mg *Diatomaceen*, P *Pediastrum*. O *Oscillaria?* — Drift-Materialien: X, M, Po (*Pinus*-Pollen), C (*Corylus*-Pollen). A (*Alnus*-Pollen), Be (*Betula*-Pollen). — Tiere: Bo *Bosmina*-Antenne, Dp *Daphniden*-Haut, Cr u. I ebenfalls *Crustaceen*-Reste, Z Ei einer Wasserwanze (*Micronecta*).

Die wesentlichsten Bildungs- und Lagerstätten von Humusgesteinen sind aber die „Moore". Von den Humuslagerstätten der Gegenwart sind es ausschließlich diese, die eine gewaltige Menge von Humus produzieren und in dieser Beziehung allein mit den Lagerstätten unserer fossilen Humusgesteine, den Braun- und Steinkohlenvorkommen, zu vergleichen sind.

Digitized by Google

Fig. 10. Profil zur Veranschaulichung der Genesis des Orts. Bunzlau in Schlesien.
a unausgelaugter Sand, b Orterde, c ausgelaugter Sand, d jetzt Ackerboden.

Digitized by Google

Ein Moor ist ein Gelände mit einem mächtigerem Torfboden. Wenn Torf, jenes nach vollständiger Zersetzung der Vegetation zurückbleibende Brennmaterial, sich noch weiter bildet und anhöht, so haben wir es mit einem lebenden Moor zu tun. Wir nennen ein Moor tot, sobald in ihm durch natürliche oder künstliche Entwässerung die Torfbildung unterbunden wird; denn nur dann vermag Torf zu entstehen, wenn der die Verwesung bewirkende Sauerstoff der Luft abgehalten wird, wo also die der Zersetzung anheimfallenden organischen Teile sich unter verhältnismäßig ruhigem Wasser befinden. Die im Werden begriffenen Torflagerstätten sind daher mehr oder minder sumpfig, d. h. naß und oft nur mit Schwierigkeiten begehbar.

Wenn Cornelius Tacitus vor bald 2000 Jahren von Germanien sagte, es sei „im allgemeinen mit finsterem Urwald oder wüsten Sümpfen bedeckt," und einige hundert Jahre später Prokop vom Niederrhein angab, dort befänden sich Sümpfe, in denen zu alten Zeiten die Germanen wohnten, so haben die beiden genannten Schriftsteller kurz und bündig für ihre Zeit gewiß das Richtige getroffen; denn Germanien besaß damals außer natürlichen Wäldern in allen Teilen des Landes große und kleine sumpfige Gelände, d. h. vor der Zeit der im Interesse der Kultur beginnenden, weitgehenden Entwässerungen. In Norddeutschland mögen Sümpfe und Moore rund $^1/_{12}$ der gesamten Landfläche eingenommen haben. Sie gehörten demnach hier zu den charakteristischsten Geländeformen. Oft genug haben die Römer die Moore durch Holzdämme überquert, wovon die durch die Erhöhung der Moore jetzt weit im Innern der Torflagerstätten noch gut erhaltenen Balken und Knüppel Zeugnis ablegen. Es ist charakteristisch, daß die Römer diese Dämme nicht als Straßen, sondern als „lange Brücken", pontes longi, bezeichneten.

Woran mag es liegen, daß trotz der auch heute noch große Strecken bedeckenden Moorgelände in Deutschland auf dem Gebiete der Moorkunde keine hinreichende allgemeine Kenntnis vorhanden ist?

Der Grund ist wohl darin zu suchen, daß vor dem Beginn der neuzeitlichen, ordentlichen Moorforschungen in Zentraleuropa die meisten Sumpf- und Moorgelände als solche vernichtet worden sind. Der heutige Forscher muß demnach, zumal in den alten und älteren Kulturländern, das Gelände ohne Kultur, in ursprünglicher Gestalt vor seinem geistigen Auge wieder erstehen lassen, um eine Anschauung zu gewinnen, wie es ohne Kultur war. Er muß jetzt die wenigen entlegenen Stellen, die dem Urzustande noch mehr oder minder nahekommen, zur Belehrung aufsuchen.

Auf meinen mehrjährigen Bereisungen von Moorgebieten Zentraleuropas habe ich selbst nirgends mehr größere Moorgelände angetroffen, die von der Kultur vollkommen unberührt geblieben waren, was bei den langen Kultureinflüssen begreiflich ist. Aber sogar auf einer Reise in

Digitized by Google

Süd-Kanada vom Atlantischen bis zum Stillen Ozean war es bereits schwierig, vollkommen intakte Moore zu finden; denn wir leben in einem Zeitalter künstlicher Entwässerungen. Auch die offenen kleineren Gewässer fallen vielfach der Kultur immer mehr zum Opfer. Ist doch nach der Berechnung WALSERS die Zahl der kleinen Seen allein im Kanton Zürich innerhalb der letzten 250 Jahre von 149 auf 76 herabgegangen! So ist es schon aus diesem Grunde verständlich, wenn heute im allgemeinen die Einsicht in die naturhistorische Bedeutung der Sumpf- und Moorgelände für ein bestimmtes Land fehlt, umsomehr als die Hauptverkehrswege und die Ansiedelungen Sumpf- und Moorland jetzt naturgemäß nach Möglichkeit meiden, während in der vorhistorischen Zeit verschlammende und vertorfende Gewässer von Menschen gern als Wohnstätten aufgesucht wurden, wie die am Boden der ehemaligen Seen unter dem Torf und zwar oft in dem darunter liegenden Sapropelit aufgefundenen Spuren der Bewohner von Pfahlbauten lehren. Waren doch gerade diese Orte wegen ihrer erschwerten Zugänglichkeit vorteilhaft durch die natürlichen Verhältnisse gegen Feinde geschützt. Daß sich heute noch Teile alter und älterer Volksstämme in ziemlicher Reinheit bei uns vorfinden, wie die Litauer im Memel-Delta, ferner die Sorben (Wenden) im Spreewald und die Friesen an der Nordsee, ist z. T. auf die Schwierigkeiten zurückzuführen, die große Moore bis vor kurzem der Technik geboten haben, denn die Sümpfe waren tiefgreifende Scheiden zwischen Hüben und Drüben.

Die Moore werden in Flach-, Zwischen- und Hochmoore eingeteilt, je nach ihrer Vegetation, soweit diese von der im Boden vorhandenen Menge der für die Pflanzen ausnutzbaren Nahrung abhängig ist. Man kann daher auch umgekehrt sagen: die Moore werden in ihren Haupttypen nach der Menge der für die Pflanzen ausnutzbaren Bodennahrung eingeteilt, was sich durch die Eigenart des Vegetationsbestandes zu erkennen gibt, insbesondere in der größeren oder geringeren Üppigkeit bezw. Kümmerlichkeit desselben. Die Flachmoore bergen strotzend und üppig aufwachsende Pflanzengestalten, die Hochmoore dagegen kleine Pflanzenformen mit geringer Stoffproduktion, während die Zwischenmoorvegetation eine Mittelstellung einnimmt.

Wo demnach auf irgend einem Boden die Bedingungen zur Entstehung von Moortorf gegeben sind, da tritt auch entweder ein Flachmoor oder ein Zwischenmoor oder ein Hochmoor auf; aber auch an ein und derselben Stelle können die genannten Moortypen auf- und nacheinander in die Erscheinung treten, weil sie in ihren Endstadien hinsichtlich der Nahrungsverhältnisse ihres Bodens einer Bedingung entsprechen, die der nächstfolgende Moortypus verlangt.

Gehen wir daher von einem See aus, der die Bedingungen zur Faulschlammbildung bietet.

Digitized by Google

Es sind, wie schon gesagt, die ruhigen Gewässer, die für die Entstehung von Sapropeliten in erster Linie in Frage kommen, da die Hintanhaltung vollständiger Verwesung Bedingung ist. Diese ist dort, wo stehendes oder nur wenig bewegtes Wasser vorhanden ist, erfüllt, während stärker bewegte Gewässer durch ihren Sauerstoffgehalt eine Zersetzung ohne Zurücklassung von festen brennbaren Resten bewirken. Wir haben demnach Faulschlamm-Ablagerungen zunächst in Seen ohne oder mit nur sehr schwachen Zuflüssen zu erwarten.

Welchen Unterschied bieten nicht die echten Faulschlammseen gegenüber denen, die kaum oder auch nicht einmal eine Spur unzersetzter organischer Reste aufzubewahren imstande sind!

Das organische Leben drängt sich mit Macht in den Bereich der Faulschlammseen, um sie schließlich durch die Fülle des erzeugten organischen Stoffes ganz zu bewältigen. Es sieht aus wie ein Kampf, den die Lebewesen gegen das offene Wasser führen, das ihnen doch gerade alle Lebensbedingungen bietet. Im Wasser selbst mehrt sich der organogene Schlamm von Jahr zu Jahr und erhöht dadurch ständig den Seeboden. Vom Ufer her treten die Sumpfpflanzen heran, die schließlich bei hinreichender Aufhöhung des Faulschlammes diesen als Boden benutzen und vorpostenartig nach und nach sich vorschiebend von der Wasserfläche Besitz ergreifen. Bei ausnahmsweise niedrigem Wasserstande oder nach künstlichen Seespiegelsenkungen kann der nackte Faulschlamm, noch unbestanden von Sumpfpflanzen, an der Oberfläche sichtbar werden (Fig. 11). Wer diesen tückischen, breiigen Boden nicht kennt, der meint wohl, ihn unbedenklich betreten zu können. Der Sumpf, der nunmehr an Stelle des Sees oder eines Teiles desselben vorhanden ist, gehört aber zu den gefährlichsten Geländen. So ist es unter natürlichen Verhältnissen und ohne besondere Vorkehrungen überhaupt oft unmöglich, das Ufer des verbleibenden Wasserspiegels eines Sapropelitsees zu erreichen. Alles an solchen Seen, mit alleiniger Ausnahme des Wassers selbst, ist organischer Herkunft!

Den Gegensatz hierzu bieten z. B. die bewegten Seen in geologisch jungen Gebirgen mit vielen Steilhängen und mit Steinschlag, der die Ufer und den Grund einnimmt. So ist das Wasser des Lüner Sees in Tirol unheimlich klar, sofern nicht ausnahmsweise die stark anschwellenden Zuflüsse Trübe mitbringen. Nur Forellen und einigen anderen Fischen und wenigen Organismen vermag der See die Lebensbedingungen zu bieten. Das unbewaffnete Auge sieht überhaupt keine Lebewesen und blickt durch das kristallklare Wasser auf den Grund, wo bei Sonnenschein die Kalksteinbrocken einen sichtbaren Schatten werfen. Das stark bewegte einfließende Wasser, der Abfluß des Sees, der periodische Wechsel des Wasserstandes bringen eine reichliche Sauerstoffzufuhr zuwege, die jegliche, auch noch so geringfügige An-

Digitized by Google

sammlung von Faulschlamm verhindert. Auch die niedrige Durchschnittstemperatur verhindert ein reicheres Planktonleben im Lüner See.

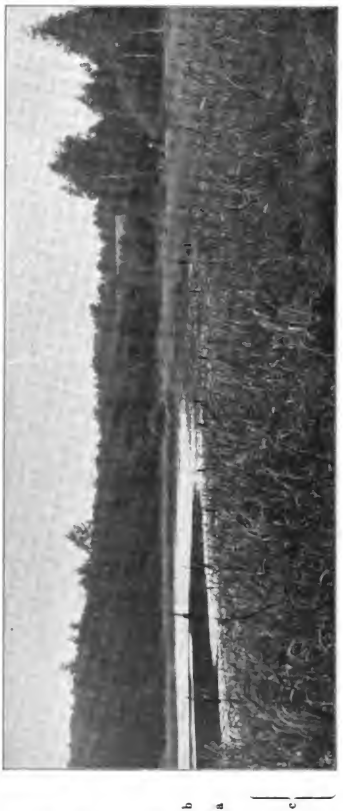


Fig. 11. See erfüllt mit (reinem) Sapropel.
a Wasser, b Sapropel, c Röhricht. (Liebemühl in Ostpreußen.)

Doch kehren wir zu unserem Sapropelsee zurück.

Durch die am Rande des Wassers lebenden Sumpfpflanzen geht der See nunmehr schneller seiner vollständigen Verlandung, seinem Er-

Digitized by Google

löschen, entgegen, indem die Sumpfpflanzen, welche Torf bilden, immer weiter nach dem Zentrum vorrücken, bis schließlich von dem immer kleiner werdenden Wasserspiegel nichts mehr übrig bleibt. Wir haben dann an der Stelle des Sees ein Gelände mit Torfboden vor uns, unter welchem sich ein Sapropelit befindet: Aus dem Sumpf ist ein Moor geworden.

Aber ruhige Seen können auch durch Torfbildung vom Rande des windgeschützten Ufers aus verlanden, bevor er derartig mit Sapropelit erfüllt ist, daß dieser den Sumpfpflanzen als Boden dienen kann; denn vom Ufer aus vermögen schwimmende Vegetationsdecken ins Wasser hinauszuwachsen, die infolge der Torfbildung schließlich dick genug werden, um Menschen zu tragen, freilich auf einem schwingenden Untergrunde, wie er bei der schlammigen Beschaffenheit von Seen, die mit Sapropelit erfüllt sind, nach ihrer Vertorfung naturgemäß zunächst ebenfalls vorhanden ist. Schließlich wird aber die immer tiefer einsinkende Torfdecke so mächtig, daß der Boden zum Stehen kommt. Hiernach kann man zwischen Schwingmooren und Standmooren unterscheiden. Die Oberfläche beider ist im ganzen zwar meist naß, aber offenes Wasser tritt nur untergeordnet auf. — Als dritte Moorform ist das Sumpfmoor zu nennen.

Wo nämlich Wasserflächen vorhanden sind, seien es dauernde oder solche, die durch regelmäßige Überschwemmung zustande kommen, deren Tiefe so gering ist, daß Sumpfpflanzen auf der ganzen Fläche von vornherein im Untergrunde zu wurzeln vermögen, und wenn dabei die für eine Torfbildung nötige Ruhe vorhanden ist, da haben wir es mit Sumpfmooren zu tun. Ihr Merkmal ist demnach das Vorhandensein von offenem Wasser zwischen den Sumpf- und Moorpflanzen. Die Schwing-, Stand- und Sumpfmoore können bewaldet sein.

Unsere einheimischen Sumpfflachmoorwälder sind gewöhnlich Erlensumpfmoore. Im atlantischen Nordamerika sind es u. a. Sumpf-Cypressenwälder in Begleitung einer mannigfaltigen Flora. In den Tropen aber, aus denen freilich unsere Kenntnisse noch sehr spärlich sind, handelt es sich um Sumpfmoore aus Mischwäldern der verschiedensten Pflanzenarten. Es liegt nahe, daß diese studiert werden müssen, um ein Verständnis für unsere wichtigen fossilen Moore und ihre Flora zu gewinnen. Denn schon bei geringer Kenntnis der Steinkohlenpflanzen wird man von vornherein vermuten, daß die Steinkohlen-, aber auch die Braunkohlenlager und die Humus-Kohlenvorkommen auch der anderen geologischen Formationen nur fossile Flachmoore sein können. Es kommt hinzu, daß vieles, was wir von den Pflanzen des Karbons wissen, für ihre Tropennatur spricht. Da nun aber unter tropischem Klima bis vor kurzem noch keine Moore bekannt waren, so bestand ein Widerspruch, der nunmehr bis zu gewissem Grade seine Lösung gefunden hat. Es ist jedoch

Digitized by Google

zu bemerken, daß in dieser Hinsicht noch das Problem keineswegs klar ist, und viele Forscher stehen der Meinung von einem Tropenklima der Karbonmoore skeptisch gegenüber (s. hinten). Daß die fossilen Kohlen je nach ihren Eigenschaften dem Torf und dem Faulschlamm entsprechen, ist schon durch die bloße mikroskopische Untersuchung leicht erweisbar, wie bereits vorn p. 24 angedeutet und weiterhin noch eingehender zu zeigen ist.

Sehen wir uns nun insbesondere unsere heutigen einheimischen Moore etwas näher an, weil wir von diesen am meisten wissen.

Ein schönes Moorgebiet, das freilich, soweit es Sumpfflachmoorwald ist, unter Forstkultur steht, befindet sich in Ostpreußen im Memel- und

Fig. 12. Sapropelit-Bank (S) bei Juwendt am Ostufer des Kurischen Haffs. Unbegehbar. An der Grenze der Bank nach dem Lande zu ein Bestand von *Bidens cernuus* (B), hier als erster torfbildender Verlander auftretend. Bei T ist die Verlandung durch Vertorfung so weit gediehen, daß dort die Fläche begehbar ist. D ist ein Stückchen des Deiches.

Nemonien-Strom-Delta. Es ist auf einem Boden entstanden, der durch Sedimentierung besonders von Feinsand vom Kurischen Haff gemischt mit Faulschlamm hervorgegangen ist und der an der dortigen Küste auch heute noch weiter in derselben Weise zunimmt, wenigstens dort, wo die Küste ruhigere Stellen besitzt (Fig. 12), indem die Sapropelmaterialien und die Wassertrübe infolge der namentlich vom Winde erzeugten Wasserbewegung ruhigere Stellen, Buchten u. dergl. aufsuchen. Das ist bei flachen, größeren Gewässern natürlich eine allgemeine Erscheinung. Dieses Neuland in Verbindung mit dem dortigen Klima ist ein günstiger Boden für Torfbildung. Der Torf höht sich allmählich an und wird demgemäß nach Maßgabe der Entfernung von der Küste immer mächtiger.

Digitized by Google

Treten wir von der Küste aus nach Osten eine Wanderung an, so durchschreiten wir nach und nach von der Sapropelsandbildung an die Hauptmoortypen, die ich genannt habe. Denn mit der Anhöhung des

Fig. 13. Verlandung durch höher organisierte Wasserpflanzen (*Nymphaeaceen*) und Röhricht. (Nach einer Photographie der Moorkultur-Versuchsstation in Jönköping, Schweden).

Bodens durch Torfbildung in dem Sumpfflachmoorwald tritt die Oberfläche immer mehr aus dem Bereich des Grundwasserspiegels heraus, so daß wir vom (Sumpf-)Flachmoor nach Durchschreitung einer Zwischenmoorzone in ein großes Hochmoor gelangen.

Digitized by Google

Zunächst wird der Sapropelsand an der Küste mit einer Gemeinschaft von Pflanzen besetzt, die als Verlander bezeichnet werden; denn es treten hier im ganzen dieselben Arten auf, welche ruhigere Binnenlandgewässer als erste Vorposten zur Verlandung bringen (Fig. 13). Nicht nur werden Wasserstellen unmittelbar hinter der Küste mit höheren Wasserpflanzen besetzt, sondern auch der Röhricht-Pflanzenverein mit dem Schilfrohr *(Arundo phragmites)* bildet an ruhigen Stellen eine die Küste begleitende Vegetationszone. Hinter dieser Zone landeinwärts entwickelt sich an denjenigen Stellen ein Wiesenflachmoorstreifen aus

Fig. 14. Erlen-Sumpfmoor bei Cranz bei Königsberg in Preußen.

Seggen (in erster Linie *Carex gracilis*), wo bewegtere Überschwemmungswässer und Eisbewegung das Aufkommen von Gehölzen verhindern. Anderwärts findet schnell Bewaldung statt und zwar in unserem Delta durch die an ähnlichen Örtlichkeiten bei uns überall vorhandene Schwarzerle *(Alnus glutinosa)*.

Dieses Erlen-Sumpfmoor (Fig. 14) kann mehrere Kilometer breit sein. Der Boden wird von Sumpfpflanzen eingenommen: dem Schilfgras, *Glyceria fluitans*, der Sumpfschwertlilie *(Iris pseudacorus)*, von *Sium latifolium*, von der Wasserfeder *(Hottonia palustris)* u. a. — also Pflanzen, die die regelmäßigen Überschwemmungen dieser Zone gut vertragen.

Digitized by Google

Wenn wir uns hier in einem Gebiete allmählicher, stetiger Landsenkung befänden in der Weise, daß die Torfanhäufung durch die Senkung ausgeglichen würde, dann könnte dieser Zustand eine gewaltig große Zeitdauer währen. Aber in unserem Falle tritt mit dem dauernd aus den absterbenden Pflanzenteilen erzeugten Torf das Gelände mehr und mehr aus dem höchsten Grundwasserstand heraus. Die Sumpfpflanzen, die mit ihrem Fuß im Wasser zu leben wünschen, werden daher allmählich verdrängt und machen einer anderen Untergrundflora Platz, die einen etwas trockneren Boden bevorzugt. So gelangen wir weiter nach Osten vordringend zuerst in eine freilich hier oft nur angedeutete Erlen-Standmoorzone. Zu ihrer charakteristischen Bodenflora (Fig. 15) gehört u. a. die große Brennessel *(Urtica dioeca)*. Auch Kletterpflanzen wie u. a. der Hopfen *(Humulus lupulus)* siedeln sich gern an.

Bis zu dieser Entwicklungsstufe bezeichnet man das Moor als Flachmoor oder Niedermoor.

Schnell beginnen sich jetzt Moorbirken *(Betula pubescens)* einzumischen. Die Erlen treten immer mehr zurück und verschwinden schließlich. Wir stehen in einer Birkenzone, die nun schon zum Zwischenmoor (Übergangsmoor) zu rechnen ist. Allmählich machen die Moorbirken einem Mischwalde, besonders Nadelwalde Platz, der vorwiegend aus Kiefern *(Pinus silvestris)* und Fichten *(Picea excelsa)* (Fig. 16) besteht.

In diesem ganzen Zwischenmoor hat sich der Torf soweit angehöht, daß der Boden nunmehr trocken ist, wie in unseren sonstigen Mischwäldern. Dementsprechend ist auch hier die Waldflora vertreten, aus der Orchideen entgegenleuchten, wie die schöne *Orchis helodes (O. maculatus helodes)*. Ericaceen werden immer zahlreicher, in erster Linie der Sumpfporst *(Ledum palustre)* in herrlichen großen Sträuchern, dann im ganzen Mischwald-Zwischenmoor bei Nemonien die hier ihre Südgrenze findende *Andromeda calyculata*. Die Bäume werden immer kleiner und bezeugen dadurch angenfällig die durch die fortschreitende Torfanhöhlung immer kärglicher zur Verfügung stehende Nahrung im Boden, dessen Durchlüftungsfähigkeit überdies bei der Dichte des Torfes abnimmt. Auch ausnahmsweise hohe Grundwasserstände vermögen dann keinen Einfluß mehr auf das Wachstum der Pflanzen auszuüben und ihnen die in diesem Wasser gelöste Nahrung zuzuführen. Schließlich sind bloß Regenwasser und Tau zugänglich, und nur noch der hineingetragene Staub bringt von außen spärlich neue Nahrung hinein. Immer mehr und mehr bedecken solche Pflanzen den Boden, die sehr bedürfnislos sind, besonders das Torfmoos *(Sphagnum)*, das nun berufen ist, die Führung in der Weiterentwicklung des Moores zu übernehmen. Die Arten dieser merkwürdigen Moosgattung sind zum größten Teil (sofern sie nämlich nicht unter Wasser selbst leben), gleichsam an der Luft lebende Wasser-

Digitized by Google

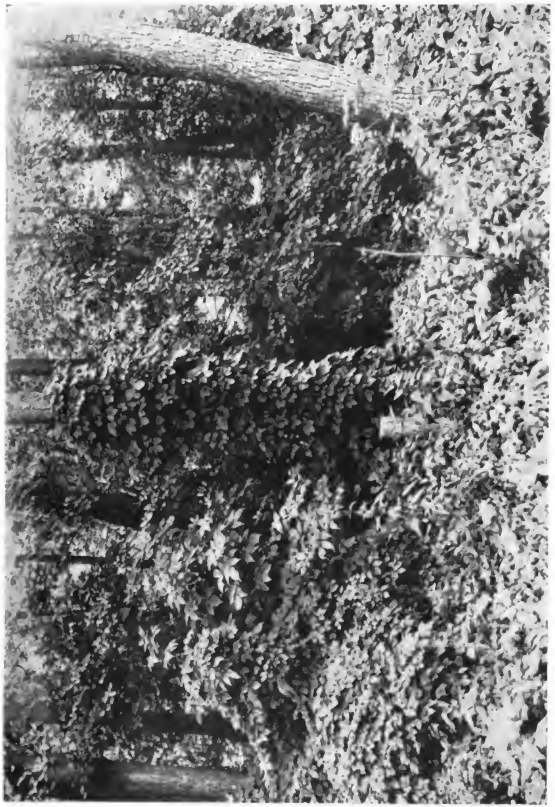


Fig. 15. Erlen-Standmoor in Gr.-Lichterfelde (durch den Bau des Teltowkanals vernichtet). *Alnus glutinosa*, der mittlere Stamm mit *Humulus lupulus*, rechts davon *Cornus sanguinea*, links *Sambucus nigra*, im Vordergrunde *Urtica dioeca*.

Digitized by Google

pflanzen. Denn durch ihren Bau (Fig. 17) vermögen diese Landtorfmoose das Regen- und Tauwasser in ihrem Körper in großer Menge wie ein Badeschwamm zu speichern. Sie sind dadurch befähigt, einen trockenen Boden zu vernässen. So gelangen wir, immer weiter nach Osten vordringend, wieder in ein nasses Gelände, obwohl dessen Oberfläche den höchsten Haffwasserstand um mehrere Meter überschritten hat. Der Torf, der nunmehr wesentlich von *Sphagnum*, dem Torfmoos, erzeugt wird, entfernt die Mooroberfläche immer weiter aus der Horizontalen dieses Wasserspiegels. Wir haben ein Moorgelände vor uns, das sich mehrere Meter über diesen Spiegel erhebt, das uhrglasförmig aufliegt und das daher Hochmoor genannt wird.

In Gemeinschaft mit dem Torfmoose leben besonders Pflanzenarten, die wir vom hohen Norden oder aus dem Hochgebirge kennen. Auch sind im Hochmoor die insekten-verdauenden Pflanzen so recht zuhause. Diese Hochmoorpflanzen müssen außer mit der aus der Luft ihnen zugewendeten Nahrung, d. h. dem Kohlendioxyd, dem Staub, Regen und Tauwasser, nur mit der geringen, letzten Endes ebenfalls aus der Atmosphäre stammenden Bodennahrung auskommen. Diese geringe Menge reicht aber nicht aus, um so üppig und schnell aufwachsende Pflanzenformen hervorzubringen, wie wir sie im Flachmoor strotzend sich entwickeln sehen. Die Pflanzen sind unter solchen Umständen besonders bemüht, alles in ihren Bereich Kommende auszunutzen, und entwickeln Anpassungen, die es ihnen sogar ermöglichen, die auf den Hochmooren lebenden oder dorthin gelangenden Insekten zu fangen, um sie als Nahrung zu verwenden. Unter solchen Pflanzen spielen in der nördlichen gemäßigten Zone der ganzen Erde die Sonnentaupflanzen, die *Drosera*-Arten, eine besondere Rolle. Sehr auffällig und weit verbreitet auf Hochmoorgeländen der gemäßigten Zone des östlichen Nord-Amerika ist die Kannenpflanze, *Sarracenia purpurea*, mit krugförmigen Blättern, die in ihrer Höhlung eine schwach saure Flüssigkeit in der Menge eines kleinen Weinglases enthalten. In dieser Flüssigkeit findet man oft zahlreich tote Insekten; denn die Krüge sind treffliche Fallen. Abgesehen von der Fähigkeit, die gelösten Weichteile der Tiere durch die Wände der Kannen aufnehmen zu können, muß unzweifelhaft für die Pflanze ein gewisser Vorteil auch darin gefunden werden, daß sie bei dem Zerfall der alten Krüge, in welchen sich die Insektenreste befinden, die von diesen gebotene Stickstoffnahrung vermöge der Wurzeln zu benutzen imstande sind, so daß dann das Fangen der Tiere die Erzeugung von Dung zur Folge hat. Die beiden genannten Pflanzen besitzen wie alle typischen Moorpflanzen den Etagenbau, d. h. sie sind imstande nach Maßgabe der Bodenanhöhung mitzuwachsen.

Auch sonst besitzt die Hochmoorflora ein eigenartiges Gepräge, das bei uns und sonst ganz wesentlich von demjenigen der Pflanzen-

Digitized by Google

Fig. 16. Zwischenmoor mit *Andromeda calyculata* (rechts und im Mittelgrunde) und *Ledum palustre* (u. a. links). Baumbestand wesentlich *Pinus silvestris*, vorn in der Mitte eine kleine *Picea excelsa*. — Försterei Laukwargen östlich Nemonien (Memel-Delta).

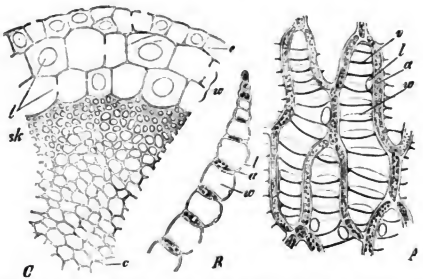


Fig. 17. *Sphagnum*. A Einige Zellen aus der Flächenansicht des Blattes von *S. cymbifolium*. B Querschnitt durch das Blatt von *S. fimbriatum*. C Teil des Stengelquerschnittes von *S. cymb.* — a = Assimilationszellen (Chlorophyll führend), w = Wasserzellen mit ringförmigen Verdickungsleisten v und Löchern l zum Ein- und Austritt des Wassers. sk = Skelettzellen, c = Zentrum des Stengels, e = Außenhaut des Stengels, ebenfalls aus Wasserzellen bestehend. (Wesentlich nach SCHIMPER).

Digitized by Google

vereine außerhalb der Hochmoore abweicht. Denn obgleich wir uns in dem mittelwarmen Teil der gemäßigten Zone befinden, so sind doch auf unseren Hochmooren vorwiegend subarktische Pflanzenarten vorhanden, die in ihrer Tracht höchst auffällig von den Pflanzen nahrungsreicherer Gelände abweichen. Im höheren Norden können die Pflanzen bei der Kälte des Bodens nicht den ausgiebigen Nutzen aus der Bodennahrung ziehen wie in wärmeren Regionen. Da aber auf den Hochmooren der mittleren und auch südlicheren gemäßigten Zone die Konkurrenz mit anspruchsvolleren Pflanzen fehlt, so begegnen wir hier den bedürfnisloseren Pflanzen des hohen Nordens. Besonders die selteneren unter ihnen muten uns wie Fremdlinge bei uns an, während doch gerade die Hochmoorpflanzen von den jetzt bei uns lebenden diejenigen sind, die am längsten in Nord-Deutschland wohnen; denn sie sind lebende Zeugen einer längst entschwundenen Zeit, die unmittelbar auf die letzte Eisbedeckung folgte, als Nord-Deutschland noch Subglazialgebiet war, das mit dem Rückzuge des Eises natürlich mit nach Norden gerückt ist. So stellen unsere Hochmoorpflanzen gleichsam ein Stück Vorwelt dar unter den Pflanzen der Gegenwart, und es kommt die bemerkenswerte Tatsache zustande, daß eine Wanderung bei uns aus einem Flachmoorgebiet durch Zwischenmoor bis ins Hochmoor hinsichtlich der Reihenfolge des Auftretens der Pflanzenvereine gewissermaßen einer Reise aus der warmen Zone bis über die nördliche Baumgrenze hinaus gleichkommt, oder daß wir uns in ein Hochgebirge versetzt glauben mit seinen Höhenzonen, denen verschiedene Pflanzengemeinschaften eigen sind, die in ihrer Aufeinanderfolge von unten nach aufwärts in gewissem Sinne den Pflanzengemeinschaften entsprechen, wie wir sie hintereinander, in horizontaler Ausbreitung in dem von uns begangenen Moorgelände antreffen.

Wie unsere Hochmoorflora eine nordische ist, so lenken unsere Flachmoorpflanzen unseren Blick nach der entgegengesetzten Richtung: nach den Regenwäldern besonders der Tropen, wo gewisse Eigentümlichkeiten unserer Flachmoorpflanzen in typischster Ausbildung zu finden sind. Während demnach zu einem vollen Verständnis unserer Hochmoorflora nur durch das Studium der nördlichsten und nördlichen Pflanzen zu gelangen ist, wird man eine Einsicht in die Eigenart unserer Flachmoorpflanzen am besten durch die Kenntnis der Regenwald-Vegetation erreichen. Bei uns haben wir z. B. eigentlich nur einen einzigen und nicht einmal voll dem Moorleben angepaßten Baum *Alnus glutinosa*, die Schwarzerle. Je weiter wir uns aber den Tropen nähern durch die *Taxodium*- und *Nyssa*-Sumpfmoore des mittleren Nordamerika bis zu den rein tropischen Flachmoorsümpfen, z. B. am Äquator auf Sumatra, um so mehr werden aus den bloßen Andeutungen volle Anpassungen; denn die tropische Moorflora mit ihren vielen Baumarten

Digitized by Google

scheint den besonderen Anforderungen, die das Leben im Moor stellt, vollkommen gerecht zu werden. (Ausführliches darüber weiter hinten.)

Doch wir befanden uns noch nicht auf der vollen Höhe unseres Hochmoores im Memel-Delta. Bei jedem Schritt sinkt der Fuß in die *Sphagnum*-Decke tief ein. Bald sind wir auf der unübersehbaren Hoch-

Fig. 18. Hochmoor-Teiche, durch *Sphagnum* verlandend. Im nördlichen Teile des großen Moosbruches im Memel-Delta.

Fig. 19. Rülle mit *Arundo phragmites*, im nördlichen Teil des großen Moosbruches (Memel-Delta). (Quer zur Rülle verläuft vorn [auf dem Bilde unsichtbar] ein künstlicher Entwässerungsgraben, in den das Rüllenwasser, wie auf dem Bilde zu sehen, abstürzt.)

moorfläche. Das Bewußtsein, hier auf einem noch unberührten Boden zu stehen, steigert den Reiz und regt die Sinne des Naturforschers ganz besonders an. Wir gelangen schließlich an einige offene Wasserstellen (Fig. 18); denn auf den zentralen Teilen von Hochmooren kann sich in

Digitized by Google

regenreichen Gebieten das atmosphärische Wasser in Teichen oder Seen ansammeln, die das ähnlich dem Meer eintönige Landschaftsbild unterbrechen. Wie von einem gewaltigen Dach fließen überdies von einem großen Hochmoor die überschüssigen Regenwässer herab und vernässen seine Umgebung. Bei reichlich vorhandenem Wasser sammelt es sich in Bächen, die ständig und regelmäßig herabfließen können (Fig. 19). Namentlich an diesen Bächen, Rüllen genannt, haben die Pflanzen naturgemäß, weil das Wasser schneller wechselt, eher Gelegenheit, Nahrung aufzunehmen. Sie genügt, um einigen anspruchsvolleren Pflanzen das Leben zu gewähren, die bei einer Begehung des Hochmoores den Verlauf einer Rülle schon von weitem anzeigen, nicht nur durch die größeren Pflanzen — sogar größere Bäume können die Rülle begleiten — sondern auch durch ihr sattes Grün im Gegensatz zu der fahlen Färbung der übrigen Hochmoorfläche. Hierbei ist freilich auch die infolge des bewegteren Wassers bessere Durchlüftung des Bodens in Rücksicht zu ziehen, die es sogar dem Schilfrohr, *Arundo phragmites*, gestattet, hier wieder aufzutreten, und Röhrichtbestände — wenn auch weniger üppig als in Flachmoorgebieten — ziehen sich daher unter Umständen die Rülle entlang bis an den Rand des Hochmoores, wo wir dann den Röhrichtbestand im Einflußbereich der Rülle sich rechts und links ausbreiten sehen (Fig. 20).

Besonders unterschiedlich ist durch ihre Üppigkeit natürlich die Flora derjenigen Rüllen, die Quellwasser des anorganisch-mineralischen Untergrundes führen. Hier treten dann mitten im Hochmoor, auf beiden Seiten eingeschlossen von einer borealalpinen Pflanzengemeinschaft, üppige Flachmoorpflanzen als weiteres schlagendes Beispiel dafür auf, welche trefflichen Reagentien die Pflanzenarten auf die Bodenbeschaffenheit, wie feinfühlig sie für Ihre Umgebung sind.

Fig. 21 soll unsere Wanderung durch das Memeldelta-Moor übersichtlich rekapitulieren. Man vergl. hierzu die Erklärung in der Unterschrift.

Bei der Abhängigkeit der Hochmoore vom atmosphärischen Wasser ist es nicht wunderbar, daß sie sich je nach der davon zur Verfügung stehenden Menge unterscheiden. Ein gewisses Maß von atmosphärischem Wasser ist für die Entstehung und Weiterentwicklung eines Hochmoores unerläßlich. Sogar das Landklima der gemäßigten Zonen reicht aus, um eine Hochmoorbildung zu ermöglichen, wenn freilich auch ein Seeklima hierfür günstiger ist. Das ist bei dem Vergleich der Landklima- und Seeklima-Hochmoore sofort verständlich. Ein Blick auf ein lebendes Seeklima-Hochmoor zeigt uns einen Moosteppich von *Sphagnum* mehr oder minder dicht mit dem Gehälm von *Cyperaceen* und zerstreut besonders mit Krüppelkiefern bestanden.

Digitized by Google

Bei einem typischen Landklima-Hochmoor hingegen tritt der *Sphagnum*-Teppich für das Auge wesentlich zurück. Er befindet sich

Fig. 20. *Arundo phragmites*-Zone am Rande des Hochmoors. Bäume, besonders *Pinus silvestris*, kleiner als im Zwischenmoor (Fig. 16).

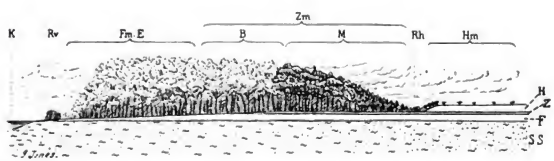


Fig. 21. Schematisches Profil durch eine Strecke vom Kurischen Haff (K), durch die Röhricht-Verlandungszone (Rv) des Ufers, das Erlen-Sumpfflachmoor (Fm: E), Zwischenmoor (Zm) in eine Birkenzone (B) und Mischwaldzone (M) zerfallend, durch die Röhricht-Hochmoor-Vorzone (Rh) bis zum Hochmoor (Hm). Im Bodenprofil bedeuten SS sapropelhaltiger Haffsand, F Flachmoortorf, Z Zwischenmoortorf und H Hochmoortorf.

im Schutze von Sträuchern, die die Oberfläche oft dicht bekleiden, und zwar nehmen hier Sträucher aus der Familie der *Ericaceen*, der Heidepflanzen, einen hervorragenden Platz ein, sowie die Arten, die diesen in

Digitized by Google

ihrer Tracht ähnlich sehen. Neben *Sphagnum* spielt hier noch das Widertonmoos, *Polytrichum*, zuweilen eine herrschende Rollle. Der Hochwuchs ist meist dichter, wenngleich auch hier die Bäume nicht ihre volle Größe erreichen und wie im Seeklima-Hochmoor verkrüppelte Exemplare unter ihnen häufig sind. Wenn wir die HELLMANNsche Regenkarte von Deutschland betrachten, so fällt die Verbreitung der Seeklima-Hochmoore etwa mit den Gebieten zusammen, für welche 60 und mehr cm mittlere jährliche Niederschlagshöhe angegeben wird. Das sind die auf der Karte blau angelegten Gebiete, während die Landklima-Hochmoor-Gebiete nur 40—60 cm Niederschlagshöhe aufweisen. Sie sind auf der genannten Karte braun angelegt.

Im südlichen Canada von Ost nach West, von dem einen bis zum anderen Ozean, habe ich fast nur Landklima-Hochmoore gesehen, die daher gegenwärtig eine größere Verbreitung besitzen, als die Seeklima-Hochmoore. Unser Hochmoor östlich von Nemonien, das wir näher kennen lernten, ist ein Seeklima-Hochmoor.

In der geschilderten Reihenfolge kann die Entwicklung vor sich gehen; aber — wohlgemerkt (vergl. vorn p. 29) — ein Hochmoor vermag auch nach vorausgehender Trockentorfbildung z. B. auf Sand- oder Felsboden zu entstehen, wenn er nur bei hinreichender Luftfeuchtigkeit unfruchtbar (etwa ausgelaugt oder schwer zersetzbar) ist. Bei der Entstehung von Hochmooren kommt es auf das Vorhandensein einer „Isolierschicht" an, zwischen dem hinreichend mineralische Nahrung hergebenden Boden und dem Hochmoor, wobei es gleichgültig bleibt, ob diese Isolierschicht ein Flachmoortorf, ein ausgelaugter Sand oder dergleichen ist. Vernäßte, nahrungsschwache Stellen oder nahrungsschwache Seen können, wenn sonst die Bedingungen zur Moorbildung vorhanden sind, ebenfalls sogleich in Hochmoor übergehen.

Wir haben übersichtlich im Memeldelta in unserem Moorgelände die folgenden Sumpf- und Moorgeländetypen kennen gelernt.

Hochmoor	Seeklima-Hochmoor, Hochmoor-Vorzone zum Teil mit *Arundo phragmites*,
Zwischenmoor	Nadelmischwaldzone mit *Ericaceen*, Birkenzone,
Flachmoor	(Erlen-Standmoor), Erlen-Sumpfmoor, gelegentlich Sumpfmoorwiesen, Röhricht-Verlandungszone,
Sumpf	aus Sapropelsand.

Ich habe dieser Übersicht die Form eines Profils gegeben, wie die den genannten Sumpf- und Moortypen entsprechenden Sapropelit- bezw. Torfarten übereinander in unserem Revier auftreten können, wobei

Digitized by Google

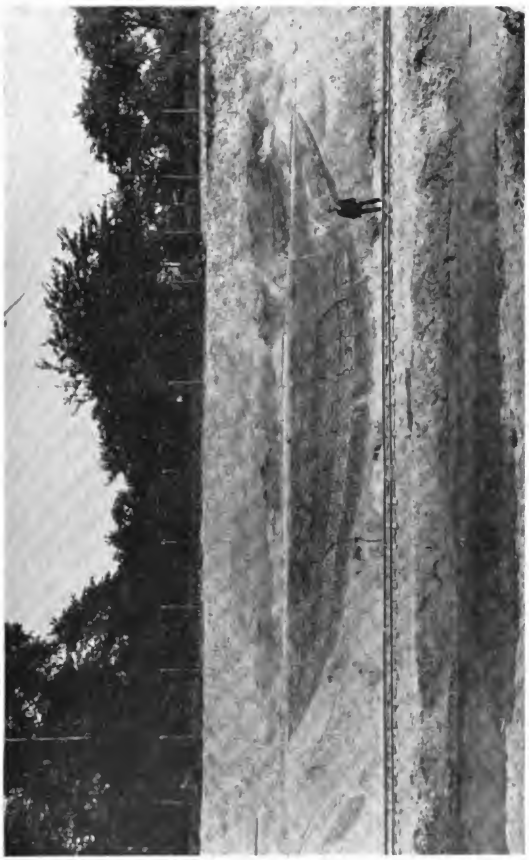


Fig. 22. Profil durch ein kleines ehemaliges Wasserbecken, verlandet durch vollständige Ausfüllung mit Sapropelit, darüber Torf, das Ganze bedeckt mit Sand. — Aufgeschlossen gewesen beim Bau des Teltowkanals in Steglitz bei Berlin.

Digitized by Google

freilich, infolge des oft schnellen Überganges des letzten Flachmoorstadiums in Hochmoor, die Zwischenmoortorfe dann kaum oder nur schwer zu erkennen sind.

Die angegebene Entwicklungsfolge ist ganz oder doch angenähert in vielen Profilen von Mooren zu beobachten. Sie ist besonders instruktiv, wenn es sich, wie in Fig. 22, um die Aufdeckung eines kleinen, vollständig übersehbaren Wasserbeckens handelt.

Liptobiolithe

Wo Landpflanzenreste sich zersetzen, die stark harz- oder wachsharz- oder wachshaltig sind oder ähnliche Stoffe reichlich enthalten, werden die genannten Produkte, da sie die am schwersten verweslichen sind, sich schließlich so anreichern können, daß sie fast allein zurückbleiben. Als Beispiel sei auf eine Pflanzengattung Südafrikas hingewiesen, die mit den Pelargonien verwandt ist, *Sarcocaulon*. Sie lebt in trockenen Gebieten und besitzt zum Schutze gegen austrocknende Winde einen sehr starken Panzer aus Wachsharz. Die Pflanzen brennen daher wie Pech und Siegellack und werden daher Buschmannskerzen genannt. Ihren Panzer, Fig. 23, findet man häufig auf große Strecken zahlreich herumliegend vor, während die gesamte übrige Pflanzensubstanz infolge der Verwesung vollständig verschwunden ist. Wo solches Panzermaterial oder die panzertragenden Pflanzenteile durch Wind und Wasser angehäuft wird, liegt eine Ablagerung von Liptobiolith vor. Eine solche rezente größere Ablagerung, von der freilich die Pflanzen, die hier das Material geliefert haben, nicht bekannt sind, findet sich am Tanafluß in Britisch-Ostafrika. Der hier abgelagerte Liptobiolith heißt Denhardtit (Potonié 1905).

Die „Pflanzenbarren", losgerissene schwimmende Vegetationsinseln, die besonders schön aus dem Nilgebiet als „sedds" und aus dem Mississippi als „rafts" bekannt sind, veranschaulichen, wie man sich den Transport denken könnte. Freilich sind aus diesem Gebiete — wenigstens bis jetzt — keine Liptobiolithlager bekannt. Wenn die Inseln und gedrifteten Pflanzenmassen an ruhigere Stellen zusammengeschwemmt werden und der Verwesung anheimfallen, werden die liptobiolithischen Substanzen als Lager oder vereinzelt in dem anorganisch-mineralischen Sediment zurückbleiben können.

Ferner sind von Kaustobiolithen u. a. der Fichtelit und der Kopal zu nennen, die freilich beide nur in vereinzelten Stücken auftreten. Fichtelit ist ein subfossiles Harz, das zuerst bei Bromeis im Fichtelgebirge gefunden wurde und in Mooren wachsenden Nadelbäumen seinen Ursprung verdankt. Die Kopale sind subfossile Harze tropischer Bäume (besonders von *Trachylobium*, auch *Copaifera* und *Cynometra*). Sie finden

Digitized by Google

sich in lockerem Boden, in den sie durch Bedeckung vermittels des Windes oder durch grabende Tiere oder durch Bedeckung mit Humus geraten sind. Meist ist bei diesen subfossilen Kopalen von den Herkunftspflanzen nichts mehr zu finden.

Besonders eigenartig sind rezente Liptobiolithe, die aus Sporen und Blütenstaub (Pollen) gebildet werden. Wo diese in so großen Ansammlungen vorkommen, daß sie Kaustobiolithe erzeugen, ergeben sie

Fig. 23. Wachsharzpanzerstück von *Sarcocaulon Burmanni* in $^1/_1$.

keinen Torf, sondern einen Liptobiolith; denn die Kohlenhydrate treten in den Sporen und Pollen zurück gegenüber den Wachsen, Fetten und Proteïnen. Die Zellwandung (und zwar Außenwandung, Cuticula, derselben) ist überdies cutinisiert und Cutin wird als ein fettartiger Stoff angegeben. So enthalten nach A. LANGER die *Lycopodium clavatum*-Sporen über 49% Fett. Ferner zeigen einige Erfahrungen, „daß auf Rechnung der Cuticula ein hoher Anteil des Trockensubstanzgewichtes von Pollen fallen kann“ (CZAPEK 1905, p. 579). Unter diesen Umständen

Digitized by Google

ist es begreiflich, wenn solches angehäuftes Material auch einen besonders charakteristischen Kaustobiolith liefert.

Eine Vorstellung von der hinreichenden Menge des in Rede stehenden Materials zur Bildung von Kaustobiolith gibt der sog. Schwefelregen, d. h. die nicht seltene Erscheinung eines „Regens" von Pollen, der bei der schwefelgelben Farbe dieses Staubes zu der genannten Bezeichnung Veranlassung gegeben hat, und als Pollen-Wasserblüte bezeichnet wird, wenn der Blütenstaub ins Wasser gerät, zum Unterschiede von der Algen-Wasserblüte (vergl. p. 20).

Es ist besonders der Blütenstaub von Windblütlern, der den „Schwefelregen" erzeugt. Die *Coniferen* und *Betulaceen* sind im Frühjahr durch Massenproduktion von Pollen ausgezeichnet, daher kommen auch die „Schwefelregen" in Zentraleuropa gerade im Mai vor. Die halbkugeligen Luftsäcke des Nadelholzpollen (s. unsere Fig. 24) erleichtern ganz wesentlich ihre Beförderung durch die Luft.

Fig. 24. Pollenkorn von *Pinus silvestris* 400 mal vergrößert. Rechts und links je ein durch Aufwölbung der Außenmembran entstandener Luftsack zur Erhöhung der Flugfähigkeit.

In fast allen unseren rezenten Sapropeliten finden sich solche Pollenkörner. Sie werden vor allem mit anderen untersinkenden Organismen mitgerissen. So fand sich im Grunewald-See bei Berlin im Juni 1904 eine Pollen-Algen-Wasserblüte, die aus *Pinus silvestris*-Pollen und Algen, wesentlich aus *Aphanocapsa pulchra*, aber auch *Pediastrum*, *Scenedesmus* u. a. zusammengesetzt war. Im Reagenzglase sank sie schließlich unter und nahm den Kiefernpollen mit. Pollen-Wasserblüte ist außerordentlich häufig. Bei der Kleinheit der Bestäubungskörper sollte man kaum glauben, welche großen Quantitäten davon so ins Wasser geführt werden. Zum Verständnis ist zu beachten, daß die Pollen- und Sporenproduktion vieler Pflanzen (*Erle*, *Haselnuß*, *Birke*, *Fichte*, *Kiefer*, *Lycopodium* usw.) massenhaft ist. Wird doch sogar von unseren kleinen *Lycopodium*-Arten das Sporenmaterial für den Handel als Bärlapp-Samen (Hexenmehl) gesammelt. GREEN (1878) berichtet von einem großen 1858 stattgehabten Schwefelregen in Schottland (Inverness Shire), der durch die Kiefer verursacht war. Der Boden, sagt er, war an manchen Stellen $^1/_2$ Zoll, also etwa 1,2 cm hoch mit Pollen bedeckt, und die Erscheinung wurde von Örtlichkeiten notiert, die 33 engl. Meilen voneinander entfernt lagen. Die ganze Oberfläche der großen Seen in Canada und in anderen Ländern wird nach dem genannten Autor, nicht selten durch einen dicken Schaum des gleichen Pollens bedeckt.

Wenn man diese große Produktion von Sporen und Pollen mit der Tatsache zusammenhält, daß sie durch die chemische Beschaffenheit ihrer Membranen der Zersetzung ganz außergewöhnlich zu widerstehen ver-

Digitized by Google

mögen, so ist es wohl verständlich, daß sich gelegentlich geradezu Pollen- und Sporenlager erhalten finden. BUREAU und POISSON beschreiben (1876) ein solches ockerfarbenes Lager, das DE L'ISLE auf Réunion bemerkt hatte, und zwar in etwa 1 m Mächtigkeit den Boden einer Höhle bildend (es soll dort noch eine zweite Höhle mit Sporenlager vorhanden sein). DE L'ISLE teilt mit, daß *Lycopodium*-Sporen auf Réunion unter Umständen in solchen Massen in der Luft vorhanden sein können, daß die Atemtätigkeit leidet. B. und P. halten die Sporen des Lagers für die eines wahrscheinlich zu den *Polypodiaceen* gehörigen Farnes. Vermutlich sind die Sporen in den Höhlen vom Wasser zusammengeschwemmt worden.

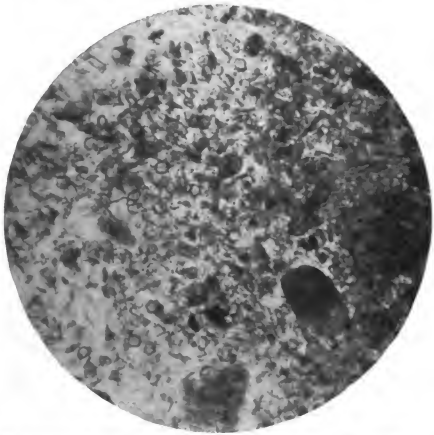


Fig. 25. Mikrophotogramm von Fimmenit von Augustenburg in Oldenburg. Die kreisförmigen bis fünfeckigen Körner sind die Pollen. Vergr.

Wichtiger für uns als dieser „Sporit" ist ein gewisser „lichter Leuchttorf", dem FRÜH (1885, p. 716) bei seiner Besonderheit auch einen eigenen Namen, nämlich Fimmenit (zu Ehren von FIMMEN) gegeben hat (1885, p. 721). Dieser Kaustobiolith ist wesentlich aus den Pollenkörnern der Erle zusammengesetzt (Fig. 25); anderes eingedriftetes Material (insbesondere Hautgewebereste (Periderm), Holz-, Zweigstückchen u. dergl. ist mehr untergeordnet vertreten. Alkohol zieht viel Wachs und Harz aus und der Fimmenit brennt anhaltend und gleichförmig für sich wie eine Kerze. Da ein bewegtes Wasser

Digitized by Google

eine Separation der von ihm transportierten Trübe und Teile überhaupt vornimmt, ist die Zusammenablagerung spezifisch etwa gleich schwerer Objekte leicht erklärlich. Ein Rinnsal eines Erlenmoores wird zur Blütezeit der Erlen dicht mit Pollen bestreut. Nehmen wir an, daß der Wasserlauf an einer ruhigen Stelle mündet oder unterwegs ruhige Buchten besitzt, so ist die Bildung eines Pollenlagers wohl verständlich. Dabei ist zu beachten, daß — wie man sich leicht bei Versuchen im Aquarium überzeugen kann — der Pollen der Betulaceen *(Alnus, Corylus, Betula)* sofort schwebend untersinkt, im Gegensatz zu dem Pollen der Windblütler mit Luftsäcken wie dem der Nadelhölzer *(Pinus* und *Picea)*. Getrocknet ist der Fimmenit so leicht, daß er auf dem Wasser schwimmt.

Fossile Sapropelite

Allgemeines

Im Verlauf der Zeit, namentlich nach seiner Bedeckung, wird das Sapropel festgallertig und in diesem Zustande Saprokoll (Faulgallerte) genannt (von σαπρος und dem Griechischen κολλα = Leim). Reinere Sapropelite, sogar der Tertiärformation (wie z. B. derjenige von Messel bei Darmstadt), können noch einen mehr oder minder zu dem gallertigen hinneigenden Zustand bewahrt haben. Sind aber reinere Sapropelite alt-fossil oder lufttrocken, so sind sie außerordentlich hart. Dabei ist aber das spezifische Gewicht — sofern es nicht durch höheren Gehalt namentlich an sekundärer Asche wesentlich erhöht wird — bemerkenswert geringer als das von Humus-Kaustobiolithen. Man ist oft überrascht über die Leichtigkeit von Sapropeliten, wenn man sie in die Hand nimmt. Der Ausdruck bituminöse Gesteine, der ganz besonders auf Sapropelite Anwendung findet, ist doch nicht mit letzteren identisch, denn nach dem Sinn von „bituminös" (vergl. p. 16) sind dies auch die Liptobiolithe. Spricht man von bituminösen Gesteinen, so bleibt ferner der Zweifel offen, ob Gesteine gemeint sind, denen die Bitumina-liefernden Materialien resp. die bereits gebildeten Bitumina von vornherein (primär) zugehören, oder ob sie sich in dem Gestein an zweiter Lagerstätte befinden, wie vielfach das Petroleum. Hier soll daher nur dann von bituminösen Gesteinen die Rede sein, wenn über die erwähnte Herkunft (ob an erster oder zweiter Lagerstätte) nichts ausgesagt werden soll, ebensowenig wie über ihre Sapropel- oder Liptobiolith-Natur, während von Faulschlamm- oder Sapropel-Gesteinen (Sapropeliten) nur dann zu sprechen ist, wenn die der Bituminierung verfallenen Stoffe von Sapropel-Natur an erster Lagerstätte vorhanden sind.

Digitized by Google

Die nicht kaustobiolithischen Beimengungen heißen in der Technik bekanntlich zusammengenommen Asche. Genetisch besteht diese aber oder kann bestehen

1. aus der von den Organismen herstammenden, das ist die primäre Asche,
2. aus anorganisch-mineralischer Substanz, das ist die sekundäre Asche, die hinzukommen kann
   a) durch Sedimentierung aus herbeigeführter Wassertrübe,
   b) durch Niederschlag aus dem Wasser, das anorganisch-mineralische Substanz in Lösung enthält. Sich zersetzende organische Substanz kann solchen Niederschlag wesentlich begünstigen bezw. durch chemische Umsetzungen veranlassen, die zwischen den Zerfallsprodukten und den gelösten Salzen stattfinden.

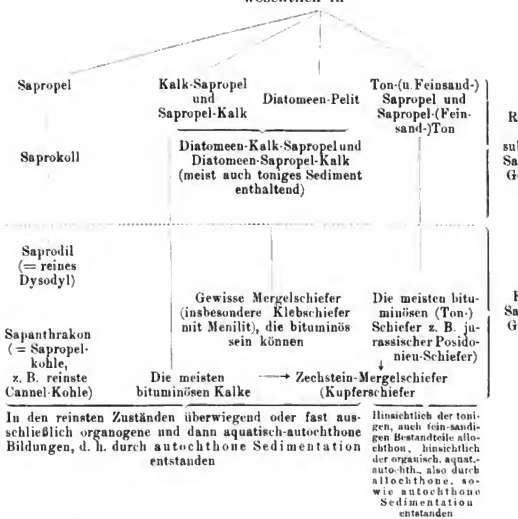
Sapropelite mit höherem Kaustobiolith-Gehalt aus der Tertiärformation heißen Dysodil (ein Ausdruck CORDIERS von 1808, vom Griechischen Präfixum *δυς* = miß-, übel und stamm *οδ-* = duften, wegen des Geruchs beim Brennen), — aus dem Carbon u. a. Kännelkohle (englisch Cannel-Coal, korrumpiert aus dem Englischen candle (lateinisch candela) die Kerze, weil diese Kohle wie ein Licht oder eine Fackel mit leuchtender Flamme brennt. Die von der Technik verwerteten Dysodile und Cannelkohlen entsprechen aber nur z. T. reinem Faulschlamm; denn wie dieser meist vermischt mit anderen Sedimenten auftritt, so war es auch in der Vorzeit. Bei dem hohen Gasgehalt sind aber Sapropelite auch bei höherem Gehalt an primärer und sekundärer Asche für die Technik ergiebig, so daß diese terminologisch oft keinen Unterschied gemacht hat. In der Wissenschaft müssen wir das allerdings tun. Deshalb nannte ich solchen Dysodil bezw. den Teil desselben, der wesentlich aus Faulschlamm allein hervorgegangen ist, Saprodil (vom griechischen *σαπρος* und *οδ-*) und Cannelkohle gleicher Art Sapanthrakon (von *σαπρος* und dem Griechischen *ανθραξ* = Kohle). Allerdings sind Saprodile und Sapanthrakone als Gesteine oder, wenn man lieber will, Minerale selten, da die Sapropelite meist beträchtlichere Mengen von sekundärer Asche besitzen; aber ebenso wie wir für die Zersetzungszustände des Humus bei ihrer großen Verschiedenheit besonderer Bezeichnungen bedürfen, nämlich Torf, Braun-, Steinkohle, Anthrazit, so auch für die organische Substanz der kaenozoischen und der älteren besonders palaeozoischen Sapropelite: Saprodil einerseits und Sapanthrakon andrerseits. Wir hätten demgemäß die folgende Reihe vom rezenten Material bis zum ältesten reinen Sapropelit: 1. Echte Wasser-Pflanzen und -Tiere, bezw. Organismen, die in chemischer Hinsicht sich wie die Tiere verhalten, 2. Sapropel, 3. Saprokoll, 4. Saprodil, 5. Sapanthrakon.

Digitized by Google

Dies sind also die reinen Sapropelite. Sie und andere mit anorganisch-mineralischem Material vermischte Sapropelite kommen in zahllosen und mächtigen Lagern ohne Ausnahme in jeder geologischen Formation vor. Das ist begreiflich, da — wie wir gesehen haben — die Bedingungen zur Entstehung von Sapropeliten so einfach und alltäglich sind, daß, nachdem einmal Wasser und Organismen vorhanden waren, auch oft Gelegenheit gewesen sein muß, Sapropel zu bilden. Die Sapropeltone oder -mergel sind fossil auch unter dem Namen Stinkschiefer oder bituminöse Schiefer, die Sapropelkalke unter dem Namen Stinkkalke oder bituminöse Kalke bekannt.

Man kann je nach der mehr oder minder weit vorgeschrittenen Selbstzersetzung die bei hohem Aschegehalt durch diesen einen Sondercharakter gewinnenden Sapropelite weiter unterscheiden, z. B. die Kalk-Sapropelite in Sapropel-, Saprodil-, Sapanthrakon-Kalke, die Ton-Sapropelite in Sapropel-, Saprodil-, Sapranthrakon-Tone usw.

Die Sapropelite sondern sich nach dem Gesagten übersichtlich wesentlich in



Bei dem außerordentlich verbreiteten Vorkommen der Sapropelite müssen bei den Bewegungen der Erdkruste, welche die Gebirgsbildung

Digitized by Google

im Gefolge hat, und den damit verbundenen weitgehenden Landsenkungen immer wieder Sapropelitlager in größere, wärmere Teufen geraten sein. Die höhere Temperatur wird vielfach in Verbindung mit dem dort vorhandenen Druck die Sapropelite soweit angreifen können, daß es bis zu einer Druckdestillation kommt. Die Folge ist dann die Entstehung eines flüssigen Kohlenwasserstoffgemenges als Destillationsprodukt, das wir als Petroleum kennen. Petroleum würde daher in unserer Klassifikation ein abgeleiteter Sapropelit sein.

Die Sapanthrakone und die durch nicht übermäßigen Aschegehalt dahin neigenden Sapropelite insbesondere aus der Steinkohlenformation und dem Perm haben ein mattes oder schwach fettglänzendes (seidigglänzendes, satiniertes) Aussehen. Es sind Mattkohlen, im Gegensatz zu den aus Landpflanzenresten hervorgegangenen palaeozoischen Kohlen, die gewöhnlich stark glänzend sind und daher Glanzkohlen genannt werden. Besonders lehrreich sind hierfür Vorkommnisse von Cannelkohlen, die im ursprünglichen Schlammzustande den Boden für eine Platz greifende Sumpfvegetation bildeten, so daß sich in ihr die unterirdischen Organe der höheren Sumpfpflanzen — insbesondere „*Stigmarien*“ — vorfinden, die sich dann stark glanzkohlig glänzend von der sie einbettenden matten Cannelkohle abheben. Dasselbe gilt von den „*Vertebrarien*“. Das sind die Rhizome des Farns *Glossopteris*, die glanzkohlig in australischem mattem Sapanthrakon-Gestein („Kerosin-Schiefer“) vorkommen. Die jüngeren Humusgesteine und selbst die Braunkohlen sind noch nicht glänzend. Sie werden es erst im Verlauf der weiteren Fossilisation bezw. durch Einwirkung von stärkerem Druck und Hitze (Duxer Braunkohle, Miesbacher tertiäre Steinkohle usw.). Die palaeozoischen Vegetationen erzeugten wohl nur wenig Harz, deshalb ist vielleicht mit zu berücksichtigen, daß die Humussubstanz aus den harzhaltigen neueren Vegetationen bei dem nur matten Glanz des Harzes, das in Verteilung noch matter wirkt, wohl auch dadurch schlechter den hohen Glanz der palaeozoischen Humuskohlen annimmt. Sapropelite jedoch — mögen sie so alt oder so jung sein, wie sie wollen — sind stets matt. Näheres im Kapitel über Liptobiolithe.

Auch in anderen Eigenschaften bleiben alte und junge Sapropelite einander sehr ähnlich. So wurde p. 21 schon die ungemeine Festigkeit und Zähigkeit des lufttrockenen Faulschlammes und der reich saprodil- bezw. sapanthrakonhaltigen Sapropelite gegenüber der sehr viel leichteren Zerbrechbarkeit von Humusgesteinen jeden Alters hervorgehoben. Ferner ist auf die weit größere Neigung zu einer auffälligen Schieferung hinzuweisen. Marpmann hat 1898 nachgewiesen, wenn feuchte oder flüssige Gesteinsmassen bei Anwesenheit von Gasen einem Druck ausgesetzt werden, so daß die Gase nicht oder nur sehr langsam entweichen können, daß dann die fest werdende Gesteinsmasse schieferig

Digitized by Google

wird. Die sich zersetzenden organischen Massen bieten also nach ihrer Bedeckung gerade die trefflichsten Bedingungen für die Entstehung einer Schieferung. Besonders auffällig ist die so entstandene Schieferung an rezenten oder subfossilen Sapropeliten zu beobachten, die den Saprokollzustand erreicht haben. Sie spalten sich nämlich beim Trocknen an der Luft in auffälligster Weise blättrig in Richtung der Schichtungsfläche auf. Diese Schieferung ist oft, ja sogar fast immer mit Schichtung verwechselt worden.

Die Sapanthrakone und reineren Sapropelite, kurz Faulkohlen überhaupt sind wegen ihrer örtlichen Entstehung nicht so häufig wie die Humussteinkohlen. Das Verhältnis zwischen ihnen ist dasselbe wie zwischen Faulschlamm und Moortorf. Die palaeozoischen Faulschlamme haben meist nicht die große horizontale Erstreckung wie die Glanzkohlen, sie sind vielmehr gewöhnlich in ihrer Ausdehnung beschränkt, oft nur „linsenförmig" eingelagert. Die Gestalt der Lager entspricht den ehemaligen Seen und Wasserstellen. Häufig nehmen auch die palaeozoischen Faulschlamme, wo sie mit Humuskohlen zusammen vorkommen, das Liegende derselben ein, wie heute die rezenten Faulschlamme gewöhnlich unter den Landtorfen auftreten[1]). Aber das ist natürlich nicht nötig; denn es kann ein Moorgelände nachträglich so stark vernässen, daß aufs neue Faulschlamm entsteht.

Schon der zunächst nur lufttrockene und dann sehr feste Faulschlamm erlangt durch die makroskopisch homogen erscheinende Beschaffenheit, durch die matte oder höchstens mattglänzende, dunkelbraune Farbe, durch die meist sehr feste, zähe Konsistenz und durch den muscheligen Bruch ähnliches Aussehen wie Sapropelkohle. Die Cannel-Kohle von Kaluga in Rußland z. B. hat die gleiche dunkle Farbe und sieht dabei auch im übrigen makroskopisch wie manche diluviale Sapropelite aus. Auch in chemischer Beziehung ist eine höchst bemerkenswerte Übereinstimmung vorhanden. Die rezenten und palaeozoischen Sapropelite usw., sofern sie hinreichend Sapropel enthalten, brennen mit leuchtender Flamme. Beide ergeben feste Paraffine und in reichlicherem Maße Öle von Petroleum-Charakter. Die Technik benutzt denn auch entsprechende Termini für beide, wie sich aus der Liste der Synonyme von Sapropel und rezenten Sapropeliten in meinem Buch über die rezenten Kaustobiolithe (I 1908 p. 143 ff.) und die hinten folgende Liste über die Namen für die meso- und palaeozoischen Sapropelite ergibt. Die Landtorfe und Landkohlen liefern im Gegensatz zu den rezenten

[1]) Recht lehrreich ist in dieser Beziehung das Weald-Kohlenvorkommen bei Oberkirchen, wo man als Liegendes der (Humus-)Steinkohle einen Tonsapropelit hat, der sich durch stärkere Methan- (Grubengas-)Entwicklung bemerkbar macht. Wir haben also hier bituminösen Ton (zugleich als Wurzelboden) unter dem Kohlenflötz.

Digitized by Google

Fig. 26. Stark sapanthrakonhaltiger Sapropelit („Boghead") aus dem Perm von Autun. Schliff in Richtung der Schichtungsfläche. $^{75}/_{1}$ der natürl. Größe. Die Algen („*Pila bibractensis*") zeigen zum Teil noch deutlich die Zellenstruktur. — Nach einer Photographie von C. Eg. Bertrand.

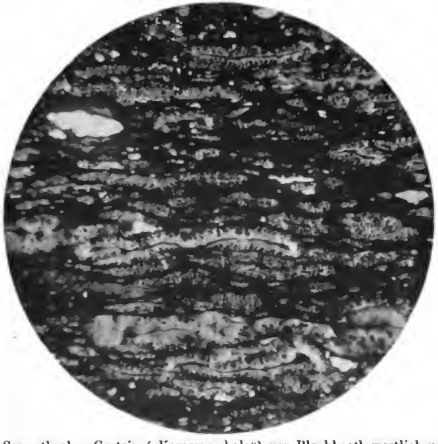


Fig. 27. Sapanthrakon-Gestein („Kerosene shale") von Blackheath westlich von Hartley in Australien. Schliff senkrecht zur Schichtungsfläche. $^{75}/_{1}$ der natürl. Größe. Die Algen („*Reinschia australis*") sind zusammengesunken (bandförmig). — Nach einer Photographie von C. Eg. Bertrand.

Digitized by Google

bis palaeozoischen Sapropeliten mehr die chemischen Verbindungen der Benzolreihe. Die Verbindungen der Paraffinreihe sind wasserstoffreicher und damit kohlenstoffärmer als die der Benzolreihe. Das Vorwiegen von Produkten der letzteren bei den Landtorfen und Landkohlen erklärt sich wesentlich aus ihren Urmaterialien.

Die technischen Eigenschaften der Sapanthrakone und überhaupt der sapropelreichen palaeozoischen Sapropelite machen ihre Unterscheidung von den Humuskohlen (den Steinkohlen im engeren Sinne) auch für die Praxis notwendig. Die Sapanthrakone usw. sind bei ihrem Reichtum an Wasserstoff sehr leicht entzündbar.

Unter dem Mikroskop erweisen sich die fossilen Sapropelite — sofern überhaupt figurierte organische Reste noch vorhanden sind — genau wie die rezenten wesentlich aus Plankton hervorgegangen. Das fast stete Vorhandensein von Algen in Sapropeliten, wenn sie auch zuweilen in noch erkennbarer Form sehr zurücktreten können, ist sogar für palaeozoische Sapropelite erweisbar. A priori möchte man annehmen, daß wohl wenig Aussicht vorhanden ist, in bereits steinkohlenartig umgebildeten Kohlen die Algen[1]) noch zu erkennen. Um so überraschender ist es, daß solche Untersuchung oft sehr gut gelingt, was durch die Erhaltungsfähigkeit von Organismen, die frisch in Faulschlammbildungen hineingeraten, ermöglicht wird. Betrachtet man Schliffe gewisser Sapanthrakone unter dem Mikroskop wie die in den Figuren 26 und 27 vorgeführten palaeozoischen Beispiele, so erkennt man trefflich eine dunkle, mehr oder minder homogene Grundsubstanz, in der oft zahllose ungegliederte, gelbe, aus gleichartigen, parenchymartigen Zellen bestehende Gewebekörper eingebettet sind, die den Habitus von Algen haben, und auch die übrigen üblichen Bestandteile wie Pollen und Sporen stimmen in beiden Fällen überein. Wie wir vorn p. 24 u. 25, um einen direkten Vergleich zu haben, die Figuren 6 (Torf) und 7, 8 (Sapropel) nebeneinander gestellt haben, so sei auch hier die Gelegenheit benutzt, in Fig. 28 einen Schliff durch (versteinerte) Humussteinkohle zu bringen, um den großen Unterschied zu den figuriert erhaltenen Resten im Sapanthrakon Fig. 26 und 27 zu veranschaulichen.

Ein von C. Eg. Bertrand untersuchter weiterer Sapropelit, der „bituminöse Schiefer" des Perm von Bruxière-les-Mines und St. Hilaire

[1]) In neuerer Zeit wird von einigen Autoren, insbesondere von Jeffrey (1910), der ja meist auch sonst das Entgegengesetzte von der allgemeinen Meinung vertritt, die Algennatur dieser Gebilde bestritten und *Pila, Reinschia* usw. für Sporen erklärt. Es ist klar, daß die letztere Ansicht noch viel weniger für sich hat als die von Bertrand, Potonié u. a. vertretene Algenansicht. Für Sporen sind die Gebilde viel zu ungleichmäßig und zu ungleich groß. Es muß zugegeben werden, daß ihre Natur bis zu gewissem Grade problematisch ist. Im ganzen befriedigt aber die Bertrandsche Anschauung immer noch mehr als die Jeffreysche. Auch Zalessky hat sich nach anfänglicher Abkehr wieder für die Algennatur ausgesprochen.

Digitized by Google

(im Département de l'Allier), enthält nach diesem Autor (1898) 22,28 % Sapanthrakon, 77,12 %, anorganisches Material (Sand, Ton und Kalk) und 0,50 % Wasser. Mikroskopisch sind nach dem Genannten zu beobachten:

Überwiegend aquatisch-autochthone Bestandteile	Knochen (nicht häufig)	Tierreste
	Fischschuppen (viele)	
	Koprolithen (viele)	
	Amorphes Material (viel)	
	Algen (sehr selten)	Pflanzenreste
	„Zoogloeïtes" (eine Gallert-Bakterie?	
Drift-Bestandteile	Unbestimmbare Pflanzenpartikel	
	Pollen, z. B. von *Cordaites* (sehr viel)	
	Sporen, (sehr wenig)	
	Anorganische Sedimente (überwiegend)	

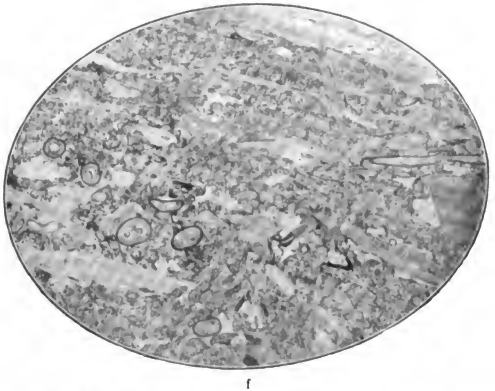


Fig. 28. Schliff durch ein echt versteinertes (und zwar dolomitisiertes) Stückchen karbonischen Urtorfs (Dolomitknolle, Torfdolomit, Coal-ball) aus dem Carbon des Ruhr-Reviers. In etwa $^{6}/_{1}$ der natürl. Größe. Namentlich links in dem Streifen f—f eine Anzahl Querschnitte durch Farnwedelstiele; rechts und links von diesem Streifen die Querschnitte einiger *Stigmaria*-Appendices mit sehr großer Lakune usw.

Man vergleiche diese Liste mit den Angaben unter den Figuren 7, 8 u. 9 eines rezenten Faulschlammes p. 25, 26 um die prinzipielle Ähnlichkeit mit der palaeozoischen Faulkohle zu erkennen. Die Rolle des *Pinus*-Pollens spielt in dem obigen Beispiel der *Cordaites*-Pollen, der übrigens wie der *Pinus*-Pollen ebenfalls Luftsäcke besitzt. Die Übereinstimmung der mikroskopischen Bestandteile mit denjenigen der rezenten ist oft geradezu überraschend.

Digitized by Google

Der von C. Eg. Bertrand (1892 u. 1897) untersuchte „Boghead" aus dem Perm von Autun enthält außer anorganischen Sedimenten (35—48%) natürlich von organischem Material wieder die amorphe Grundsubstanz, ferner sind vorhanden sehr viele Algen (vergl. Fig. 26), ferner Pollen von *Cordaites*, Sporen, Holz, unbestimmbare Pflanzenpartikel, Tierreste wie solche von *Fischen*, *Crustaceen* und größere Koprolithen.

Auch in anatomischer Beziehung steht der rezente Faulschlamm mit der Sapropel-Kohle demnach auf derselben Stufe. Oft genug sind mit bloßem Auge sichtbare Reste größerer Organismen vorhanden. Es ist oft Meeres- oder Brackwasserfauna, die sich in den Sapanthrakon-Gesteinen selbst oder in den unterlagernden oder überdeckenden Schichten findet, so auch im oberschlesisch-mährischen Revier, in Schottland und anderswo. Es finden sich Fischreste, Meeres- resp. Brackwasser-*Mollusken*, Koprolithen von *Fischen* und *Reptilien* usw.

Eigentliche mikroskopische Untersuchungen von Sapanthrakon-Gesteinen hat, wie wir schon sahen, insbesondere C. Eg. Bertrand angestellt[1]). Nur ganz nebenbei und untergeordnet hat sich dieser Autor aber auf rezente Vorkommnisse wie auf die Algen-Wasserblüte und den Schwefelregen (darüber weiter hinten) bezogen. Daß ein genaueres Studium der rezenten Kaustobiolith-Bildungen ihn außerordentlich fördern würde, hat er wohl nicht vermutet. Auch ist zu beachten, daß alte Kulturländer wie Frankreich nicht mehr hinreichend zum Studium der rezenten in Betracht kommenden Verhältnisse geeignet sind. Andernfalls hätten ihm diese die Eigentümlichkeiten, die die anatomische Struktur und die sonstige Beschaffenheit der von ihm so eingehend untersuchten Kaustobiolithe bieten, aufgehellt. Er wäre dann nicht zu Anschauungen gelangt, die fernab von den Erfahrungen liegen, die die Gegenwart bietet (vergl. vorn p. 12). Jedoch ist in einer Beziehung die Vernachlässigung des Vergleichs von fossilen mit rezenten Kaustobiolithen bei Bertrand nicht zu beklagen. Man kann sie vielmehr als einen glücklichen Umstand ansehen, insofern als wir dadurch ein Material in die Hände bekommen haben, das unbeeinflußt von vorgefaßten Meinungen gewonnen, uns gestattet, die noch mangelnden Vergleiche anzustellen, um ein Urteil über die Genesis der fossilen Kaustobiolithe gewinnen zu können. Neuerdings (1905, 1907) hat dann aber Bertrand auf meine Arbeiten Bezug genommen. An seine und anderer Autoren Neigung, die Kaustobiolithe, insbesondere die Sapropelite nach den noch in ihnen

[1]) Deutsche Cannelkohlen oder Bogheads sind noch mikroskopisch sehr wenig untersucht, wie überhaupt die Untersuchung der Mikrostruktur deutscher Steinkohlen noch sehr rückständig ist. Einen typischen Boghead mit Algen *(Pila)* hat Sterzel (1900) bekannt gemacht. Winter (Glückauf 1913, 1919) hat neuerdings versucht, Steinkohlen im auffallenden Licht nach Art der Metallographen zu untersuchen.

Digitized by Google

figuriert erhaltenen Resten zu klassifizieren, ist der folgende Maßstab zu legen.

Wo in Sapropeliten einmal die tierischen Reste vorwalten oder vorzuwalten scheinen, lassen sich auch die Saprodile und Sapanthrakone, überhaupt die Sapropelite einschließlich des rezenten Faulschlammes, je nach der Auffälligkeit der sie zusammensetzenden noch figuriert erhaltenen, d. h. der noch strukturell (mikroskopisch und makroskopisch) erkennbaren Konstituenten, in der Tat gelegentlich in zoogene und phytogene Sapropelite sondern. Es wäre aber falsch, ein zu großes Gewicht für die Klassifikation besonders der Sapropelite, aber auch der Humusgesteine auf die noch figuriert erhaltenen Bestandteile zu legen. Das Wesentliche bleibt doch gewöhnlich die amorphe Grundsubstanz, die bald wesentlich tierischer (verfaulte Tierreste, Exkremente), bald vorwiegend pflanzlicher Herkunft, bald von beiden organischen Reichen gleichmäßig bedacht worden sein kann. Wenn sich also gar keine erkennbaren Tierreste mehr finden, so darf daraus nicht gefolgert werden, daß wir einen ausschließlich phytogenen Kaustobiolith vor uns haben. Leicht zerfallende Tiere, wie *Infusorien* ohne resistentere (Chitin- usw.) Teile können nur eine amorphe Grundsubstanz liefern, ebenso manche Pflanzen und Pflanzenteile. Genau wie bei den rezenten Faulschlammen haben sich nur die Teile figuriert erhalten, die chemisch sehr widerstandsfähig sind, und die, die frisch oder soeben abgestorben eingebettet wurden. Rein oder fast rein phytogene Sapropelite sind am leichtesten vorstellbar, weil Pflanzen allein von unorganischer Nahrung leben können; aber die Überlegung, daß tierisches Leben nur dort möglich ist, wo letzten Endes hinreichende Pflanzennahrung vorhanden ist, macht es höchst wahrscheinlich, daß bei der Entstehung der sogenannten „zoogenen" Sapropel-Gesteine doch gewöhnlich Pflanzen reichlich mitgewirkt haben, die nur gleichmäßig zersetzt sind, so daß ihre Reste jetzt nicht mehr oder nur noch als „untergeordnete" Konstituenten zu erkennen sind.

Da man also bei dem trügerischen mikroskopischen Bilde meist nicht mehr entscheiden kann, ob das Sapropel eines Sapropelites wesentlich tierischer oder wesentlich pflanzlicher Herkunft ist, kann eine Unterscheidung in zoogene resp. phytogene Sapropelite durchaus nicht mehr besagen als: im ersten Falle zeigt die mikroskopische Betrachtung wesentlich tierische, im zweiten wesentlich pflanzliche Reste, die sich noch so figuriert erhalten haben, daß eine Zuweisung zum Tier- oder Pflanzenreich möglich ist.

Die Zerstörung der figurierten Teile geht auch später noch weiter, wenn die organisch-mineralischen Beimengungen aus chemisch leichter beweglichen oder leicht löslichen Verbindungen bestehen, besonders wenn es sich um größere Zusätze von Kalk, Eisenverbindungen oder $SiO_2 + H_2O$ (also opaliger Kieselsäure) handelt. Je reiner der Sapropelit

Digitized by Google

ist, d. h. je mehr Sapropel er enthält oder enthielt, um so leichter erhalten sich figurierte Bestandteile. Aber selbst in den vielen Fällen, in denen Sapropelite unter dem Mikroskop sich zum Teil sogar dicht erfüllt mit Organismenresten ergeben, werden die letzteren doch bei einer Beurteilung der Herkunft des kaustobiolithischen Materials kaum gebührend gewürdigt. Es werden vielmehr die mit bloßem Auge sichtbaren Fossilien zu sehr berücksichtigt, und wenn man außer diesen sonst nichts sieht, so meint man nur zu oft, daß diese großen Organismen die wesentliche Quelle des Kaustobioliths seien, daß weiter nichts vorhanden sei, oder daß in Verkennung der quantitativ so ausschlaggebenden Mikroorganismen diese nicht in Betracht kommen. Oftmals sind übrigens Reste mikroskopischer Organismen in Gesteinen — Sapropeliten oder anderen Kaustobiolithen — vorhanden, denen man es auch unter dem Mikroskop nicht ohne weiteres ansieht, die aber auffällig in die Erscheinung treten bei Anwendung der von BLEICHER 1895 für Gesteinschliffe angegebenen Färbemethode, die leider noch wenig Anwendung findet, die aber größere Beachtung verdiente.

Übrigens kann auch ein und derselbe Sapropelit je nach den entnommenen Proben ein „phytogener" oder ein „zoogener" Sapropelit scheinen. Sehr belehrend sind nach dieser Richtung die leichter und schneller als die fossilen untersuchbaren rezenten Sapropele. Die Figuren 7 und 8 stellen zwei Proben von Sapropel dar, die von der gleichen Stelle eines verlandeten Sees herstammen, von denen Probe Fig. 7 nach den figurierten Resten allein beurteilt ein phytogenes, Fig. 8 ein zoogenes Sapropel genannt werden müßte.

Die Farbe der Sapropelite kann sehr verschieden sein. Sehen wir von der etwa durch die anorganisch-mineralische Beimengung bedingten Färbung ab, so kann Sapropel sehr hell sein und ist je nach der Menge hinzukommender Humussubstanz dunkler bis schwarz. Helle Exkremente können so überwiegen, oder die Zersetzung kann so weit gehen, daß nur schwer zersetzliches Fett zurückbleibt, wie der schwache, weiße Fettgehalt im Globigerinenschlamm der Tiefsee. So gibt es also sehr helle aber doch typische Sapropelite, wie z. B. sehr auffällig im Hangenden eines miocänen Braunkohlenlagers bei Eger in Böhmen, das also nach seiner Entstehung den Boden eines Gewässers bildete, in welchem später Sapropelit sich niederschlug. Dieser als „Cyprisschiefer" bekannte Sapropelit ist ein graugrünlich-gelblicher Sapropel-Ton mit überraschend großem Gehalt an brennbaren Gasen, die bei der Trockendestillation mit Zurücklassung eines natürlich intensiv schwarz-kohlig gefärbten Tones davongehen. Bei der mikroskopischen Untersuchung zeigen sich in diesem Sapropel-Ton als wesentliche Bestandteile des Gesteins gleichmäßig und massenhaft kleine mehr oder minder kugelförmige bis ellipsoidische Bildungen, die auch beim Glühen nicht verschwinden, sondern schwarz werden.

Digitized by Google

Diese figurierten Teile sind vielleicht „Fäkalkugeln", wie RHUMBLER (1894) solche in *Saccammina sphaerica* fand, die den von FR. E. SCHULZE vorgeschlagenen Namen Sterkome führen. Die Sterkome sind nach diesem Autor (1906 p. 6) gegen chemische Einflüsse (sowohl starke Alkalien wie Mineralsäuren) äußerst resistent. Die gleiche Eigenschaft zeigen auch die fossilen „Sterkome". Außerdem sind in diesem interessanten Sapropelit andere kugelförmige Körperchen noch figuriert erhalten, die Algen sein könnten (vielleicht auch Spongillen-Nadeln?) ferner Pollenkörner ähnlich denen von *Picea*. Die gleichen Eigenschaften zeigen auch Zapfen von *Coniferen*, sodann ebenfalls hineingefallene Blätter und Früchte, ferner stellenweise in großer Menge Krebschen *(Cypris)* und endlich Fischreste.

Als „Turf of Marahú" aus dem Tertiär(?), vorkommend bei dem Ort Marahú etwa 100 km südlich von Bahia in Brasilien, wird ein Kaustobiolith beschrieben, der von licht-brauner (blonder) oder dunkelgrauer Farbe sich mittels eines Streichholzes leicht entzünden läßt. Er ist so leicht, daß er auf dem Wasser schwimmt. Vielleicht handelt es sich um einen ähnlichen, aber wesentlich aschenärmeren Kaustobiolithen wie den *Cypris*-Schiefer. C. EG. BERTRAND (1905 p. 365) meint, „la turfe du Rio Marahú" bestände wesentlich aus Algen.

Sapropel (rezentes und fossiles) ergibt bei der Destillation unter gleichen Bedingungen mehr brennbare Gase und Teer (und zwar Ölteer), Humus (rezenter und fossiler) weniger Gase und wenigen, dicken Teer, und der Koks resp. C-Rückstand ist bei Sapropel (rezentem und fossilem) dementsprechend weit geringer als beim Humus (rezentem und fossilem). Der unter dem Namen Kerosinschiefer bekannte palaeozoische Sapropelit Ost-Australiens z. B. ergab in einem Fall nicht weniger als 60% Teer, 3% Gas (und Verlust) und nur 35% Koks, außerdem 2% H_2O. Diese Eigenart beruht auf dem hohen H-Gehalt des Sapropels, Saprodils resp. Sapanthrakons. Hierfür einige Beispiele, wobei gleichzeitig auch um des bequemeren Vergleichs halber Liptobiolithe mit aufgeführt werden. Die folgende Tabelle (vergl. SPÄTE 1907, STREMME 1907, sowie beide Autoren gemeinsam 1907) faßt 57 Analysen zusammen.

	Sapropelgesteine			Humusgesteine			Liptobiolithe		
	C %	H %	H auf C = 100	C %	H %	H auf C = 100	C %	H %	H auf C = 100
Quartär . .	50—57	6—7	12	50—60	5—6	10	72—82	7—11	12
Tertiär . .	65	8,5—9	13	60—75	4—6	7,5	64—86	5,5—11,5	12,5
Mesozoikum .	69,5—76	8,5—12	14	75—87	4—5	5,5	—	—	—
Palaeozoikum	75—83	7,5—10	11	80—95	1,5—6	4	—	—	—

Bei Behandlung von Kohle, Steinkohle u. dergl. mit Kaliumchlorat ($KClO_3$) und Salpetersäure (HNO_3) — also mit der von FRANZ SCHULZE empfohlenen Mazerations-Flüssigkeit — wird die Kohle durch eine ein-

Digitized by Google

leitende Oxydation mazeriert, sie wird gewissermaßen wieder zum Torfstadium zurückgeführt; denn Torf enthält mehr Sauerstoff als Steinkohle, die durch längere Selbstzersetzung sauerstoffärmer geworden ist und nun durch die erwähnte Behandlung mit Sauerstoff wieder angereichert wird. Nach erfolgter Hinzufügung von Ammoniak (NH_3) oder überhaupt einer alkalischen Lösung wie z. B. Lithiumkarbonat, das sich bei meinen Versuchen sehr bewährt hat, wird gelegentlich alles oder nur ein Teil der Kohle gelöst. Bei rezenten und subfossilen Kohlen und selbst meist bei der Braunkohle des Tertiärs ist selbstredend eine Lösung der homogenen Substanz bei Zusatz von Alkali ohne weiteres, ohne vorherige Mazeration möglich. Aus der Lösung wird durch eine stärkere Säure (z. B. HCl) eine flockige Fällung von Humus erzielt. Die nicht in NH_3 löslichen Bestandteile sind noch figuriert erhaltene und Asche. Eine Kohle, die sich vollständig löst, entspricht dem Dopplerit. Solche Dopplerit-Kohlen kommen in allen Kohle führenden Formationen vor. Sie sehen von vornherein wie der Dopplerit ganz homogen aus. In Braunkohlenlagern zuweilen in Nestern oder Spalten und Rissen vorkommend, sind sie gagatähnlich und lufttrocken schwarz wie im Torf, — in Schwarzkohlen, die stärker zersetzt, also homogener, d. h. dopplerit ischer sind, ist der Unterschied dann aber kaum noch wahrnehmbar. Die Übereinstimmung zwischen Torf und mazerierter Kohle ist also nach der angegebenen Richtung so vollständig, wie man sie nur erwarten kann.

Benutzt man nun diese Methode auch zur Untersuchung von rezenten oder fossilen Sapropeliten, so ist der Unterschied von Humus-Kaustobiolithen insofern sehr auffallend, als bei den Sapropel-Urmaterialien mit ihrem ursprünglich geringen Kohlenhydratgehalt, also mit ihrem nach der Zersetzung geringen, oft so gut wie fehlenden oder verschwindend geringen Humusgehalt, lösliche Humusstoffe nicht oder nur untergeordnet in die Erscheinung treten. In den meisten Fällen ist aber dem Sapropel, Saprodil oder Sapanthrakon rezenter bezw. fossiler Humus beigemengt, wie sich schon aus der dargestellten Genesis ergibt. Je nach der helleren oder dunkleren Färbung der in der angegebenen Weise gewonnenen Lösung läßt sich ein Bild über das Quantum an vorhandenem Humus gewinnen. Besonders groß ist der Gehalt an fossilem Humus in der Pseudo-Cannelkohle Muck's und daher hier hervorzuheben.

Wie Saprokoll oder sonst ein subfossiler oder rezenter Sapropelit allermeist die Basis von Moortorfen einnimmt, so bilden auch Sapanthrakon-Gesteine, wo sie überhaupt vorkommen, oft das Liegende der palaeozoischen Kohlenlager. Wie bei Wasserbedeckung von Moortorf sofort wieder Faulschlammbildung einsetzen kann, was eine Wechselschichtung zwischen Saprokoll und Moortorf zur Folge hat, so gibt es viele Profile, die einen Wechsel von Sapanthrakon- und Humuskohle zeigen. Auch

Digitized by Google

das Hangende von Steinkohlenlagern kann durch eine Sapanthrakon-Schicht abgeschlossen werden, was gewiß nichts Überraschendes hat. Die Sedimentierung, die das Lager nach oben abschließt, erfolgte durch

Fig. 29. Streifen-Schwarz-(Stein-)Kohle aus dem Steinkohlenrevier an der Saar (Grube St. Ingbert in der Pfalz). Natürliche Größe. Die schwarzen Streifen sind Glanz-(Humus-)Kohle, a sind jedoch Holzkohlenreste. Die hellen Partien sind Matt-(Faul-)Kohle.

einen Wassereinbruch. Wo dieser erst langsam einsetzend von einer bloßen Überschwemmung eingeleitet wird, kann, solange noch hinreichende Ruhe herrscht, wieder Sapropel entstehen, das dann erst von Sedimenten bedeckt wird.

Digitized by Google

Moore, die eine regelmäßige Wasserbedeckung besitzen oder einer periodischen Wasserbedeckung unterliegen, liefern ein autochthones Humusgestein, das zum Teil von den auf dem Moor wachsenden Land-, zum Teil von den echten Wasserorganismen zusammengesetzt wird, oder aber ein Lager, das in dünneren Schichten einen steten Wechsel von Saprokoll und Torf, im Palaeozoikum von Sapanthrakon und Humuskohle zeigt. Dies ist, wie wir p. 26 sahen, die karbonische „Streifenkohle", in der die matten Lagen aus fossilem Faulschlamm, die Glanzkohlenlagen aus fossilem Moortorf bestehen (Fig. 29).

Die abgebildete, „fette" Streifenkohle von St. Ingbert ist denn auch entsprechend ihrem hohen Sapanthrakon-Gehalt sehr H-reich und die Ausbeute an Koks relativ gering. Nach einer von GÜMBEL (1865) mitgeteilten Analyse enthält nämlich diese Kohle 80,53 C; 5,06 H; 11,91 O; 0,02 N (2,48 Asche) und die Ausbeute an Koks beträgt 62,68 %. Demgegenüber hat z. B. eine beliebige englische Humus-(Glanz-)Kohle 88,36 C; 3,86 H; 3,31 O, N und S (3,72 Asche), und die Ausbeute an Koks beträgt 87,16 %

Der Kampf, der in der angegebenen Weise zwischen Wasser und Sumpf- bezw. Moorgelände stattgefunden hat, malt sich in Profilen wie dem folgenden von der Zeche Schlägel und Eisen bei Recklinghausen in Westfalen. Wir haben dort das folgende Profil:

5.	rund	10 cm	Glanzkohle (Gasflammkohle)
4.	„	95 „	Streifenkohle
3.	„	8—15 „	Cannelkohle
2.	„	10 „	Streifenkohle
1.	„	1,30 m	Cannelkohle.

Wir lernen aus diesem Profil, daß zunächst (1.) eine Wasserbedeckung vorhanden war, in der Faulschlamm entstand. Die Wasserbedeckung nahm ab (2.), sei es durch Aufhöhung des Bodens durch den Faulschlamm, sei es durch sonstigen Wasserverlust oder Verlandung durch Sumpfpflanzen. Dadurch konnte nun ein Moor entstehen, das aber periodischen Überschwemmungen ausgesetzt war, so daß dann die Faulschlammbildung immer wieder einsetzte. Die Folge war die Entstehung von Streifenkohle. Sodann (3.) trat wieder eine längere Wasserbedeckung ein, die wiederum eine gleichmäßige Faulschlammbildung ermöglichte. Wieder (4.) ging das Wasser zurück, doch nur so, daß wieder Streifenkohle entstehen konnte. Endlich (5.) verschwand das Wasser dauernd so weit, daß nunmehr eine reine Moorbildung möglich war, die sich im Profil durch das Vorhandensein von reiner Glanzkohle (spezieller „Gasflammkohle") kund tut.

Eine Erläuterung dazu geben unsere heutigen Sapropelteppiche („Meteorpapiere"), das sind Teppiche von Sapropel, die auf unseren

Digitized by Google

Wiesen und Torflagern nach dem Zurückweichen einer Überschwemmung zurückbleiben (Fig. 30), es sei denn, daß es sich in gewissen Streifenkohlen um Kohlen handelt, in die wegen ihrer Entstehung ständig und regelmäßig sehr viele Landpflanzenreste hineingeraten sind. In solchem Fall kann ebenfalls ein streifiges Aussehen erzielt werden, da die eingebetteten Landpflanzenreste dann sichtbar bleibend inkohlt werden und als glänzende Streifen in der matten Kohle in die Erscheinung treten müssen (vergl. p. 54 auch *Stigmaria* usw. in Cannelkohle). Die Mengung von humus- und sapropelbildendem Material kann — wie angedeutet — aber sehr innig sein; es kann z. B. ein sapropelbildendes

Fig. 30. Sapropelteppich (Meteorpapier) auf einem Flachmoor.

Wasser auch sehr viele humusbildende höhere Wasserpflanzen enthalten oder in Wasserstellen eines Moores kann Sapropel entstehen, das sich dann mit dem sich bildenden Torf gleichmäßig mischen kann. Der resultierende Kaustobiolith gibt dann mit bloßem Auge die Urmaterialien nicht ohne weiteres zu erkennen. Ein solcher palaeozoischer Kaustobiolith ist die Pseudo-Cannelkohle, die den rezenten Sapropel- bezw. Saprokoll-Torfen entspricht. Schon der Ausdruck „Pseudo-Cannelkohle" weist darauf hin, daß diese Kohle zwar äußerlich der Cannelkohle ähnlich sieht, jedoch gewisse Eigentümlichkeiten aufweist, die eine Trennung von der echten Cannelkohle verlangen. Welche Stellung sie nun aber innerhalb der genetischen Klassifikation der Kohlen einnimmt, war gänzlich unklar geblieben.

Digitized by Google

Barsch (1908) hat nun auf meine Veranlassung versucht, die Frage auf chemischem und mikroskopischem Wege zu lösen. Nach der Muckschen Definition läßt sich die Pseudo-Cannelkohle nicht eindeutig bestimmen. Muck selbst hat Kohlen ganz verschiedener Art unter dem Namen Pseudo-Cannelkohle vereinigt. Die Untersuchungen ergaben u. a., daß Muck selbst eine Bogheadkohle und eine Glanzkohle, die durch Sedimente verunreinigt waren, als Pseudo-Cannelkohlen bezeichnet hat. Im allgemeinen ergab sich, daß die Pseudo-Cannelkokle ein Mittelding zwischen Humuskohle und Sapanthrakon ist. Als Urmaterial der Pseudo-Cannelkohle muß man also Sapropel-Torf bezw. Torf-Sapropel annehmen, d. h. eine Entstehung in Gewässern, die Sapropel bildeten, aber gleichzeitig durch Vertorfen verlandeten. Der Beweis hierfür ergibt sich aus folgendem: 1. Das mikroskopische Bild von vorher mazerierten Pseudo-Cannelkohlen-Proben zeigt einerseits viele figurierte Bestandteile von Landpflanzen, wie sie bei Humuskohlen vorkommen, und anderseits Elemente (wie besonders viele Sporen usw.) und eine Beschaffenheit, wie sie bei Sapanthrakon üblich sind. 2. Bei Mazeration der Kohle mit dem Schulzeschen Reagens zeigt sich schon an der Färbung der Flüssigkeit der Gehalt der Kohle an Humus. Augenfälliger tritt dies zutage, wenn NH_3 im Überschuß hinzugesetzt wird. In dem einen Falle erhalten wir stark dunkle Humusfärbung, im andern nur eine schwache Färbung. Die Pseudo-Cannelkohle nimmt hierin eine Mittelstellung ein. Chromsäure zeigt ebenfalls durch Farbenänderung, ob man es mit Humuskohle oder Sapanthrakon zu tun hat. Das stark reduzierend wirkende Sapanthrakon reduziert Kaliumbichromat zu Chromit, was durch Grünfärbung der Lösung sichtbar wird, während bei Humuskohle bei gleich langer Einwirkung Grünfärbung nicht eintritt (die Lösung bleibt braun). Pseudo-Cannelkohle verhält sich auch hier genau wie eine Mischung aus Humus-(Glanz-)Kohle und Sapanthrakon (Mattkohle). Demnach ist anzunehmen, daß die Pseudo-Cannelkohle ein fossiler Sapropel-Torf resp. Torf-Sapropel ist.

In neuerer Zeit haben die Engländer wieder begonnen, sich mit der Kohlenmikrostruktur zu befassen, nachdem schon früher Lindley und Hutton, Williamson u. a. sich damit beschäftigt hatten. Neuerdings sind die Arbeiten von Hickling und Stopes besonders bemerkenswert, von denen letztere zusammen mit dem Chemiker Wheeler (1918) eine ausführlichere kritische Zusammenstellung veröffentlicht hat. Hickling hat 1917 (s. Liter.) eine Mitteilung mit sehr schönen Dünnschliffabbildungen veröffentlicht und findet, daß alle Kohlen, matte und glänzende, mehr oder minder aus linsenförmigen Lamellen zusammengesetzt sind. Man muß nach Möglichkeit ungefaltete Kohlen nehmen, bei denen also die Struktur noch nicht durch Zerreibungen und Zerreißungen gestört ist. Im typischen Fall bemerkt man ein Abwechseln

Digitized by Google

dünner matter und glänzender Lagen, öfter 20—30 auf einen Zoll. Die glänzenden Lagen sind sehr homogen, die matten ungleichmäßig, oft mit kleinen Linschen von glänzender Kohle durchsetzt. Die Homogenität der Glanzlagen ist nur scheinbar; bei genauerer Beobachtung zeigt sich darin oft wohlerhaltene Zellenstruktur, die durch den geringen optischen Unterschied zwischen den Zellenwänden und dem diese erfüllenden homogenen Inhalt verdeckt ist. Diese Form deckt sich mit dem, was JEFFREY als Lignitoïd bezeichnet. In den matten Lagen finden sich meist Lignitoïdstreifen, Epidermen und Sporen, die größeren davon flach zusammengesunken. In Summa unterscheidet der Verfasser 4 Elemente in der Kohle: Lignitoïd, Epidermenfetzen, Sporen und eine diese verbindende Matrix von dunkler körneliger Struktur, die sich erst bei stärkerer Vergrößerung in einzelne stark zersetzte Pflanzenreste auflöst. Hierzu kommen noch schärfer umgrenzte, rundliche durchsichtige Körper, die meist als „Harzkörper" von den Autoren gedeutet werden, die aber in Wahrheit kolloidal ausgeschiedene, humöse Massen sein werden. Hierzu tritt dann die bekannte „Holzkohle" (mother-of-coal, fusain) und bei den Bogheadkohlen die „Algen" wie *Reinschia, Pila.* In ähnlicher Weise gliedert HICKLING auch die matten Kohlen und unterscheidet dann insgesamt nach der Mikrostruktur: 1. Humuskohlen („Lignitoïd" mit Grundmasse, „Holzkohle", „harzige" Körper; Sporen sparsam, „Algen" fehlend). 2. Canneloide Kohlen (wirkliche Cannel- und Sporenkohlen; Lignitoïd nur akzessorisch, „Holzkohle" sparsam; „Algen" zuweilen vorhanden). 3. Bogheads (Algen vorherrschend, anderes akzessorisch). 1 deckt sich mit POTONIÉs Humuskohlen, 2 und 3 sind Sapropelitkohlen.

Speziell auf die Streifenkohle bezieht sich die Arbeit von STOPES (1919). Sie unterscheidet darin 4 mit der Lupe kenntliche Elemente. 1. Fusain (Holzkohle, mother-of-coal), 2. Durain (matte, härtere Kohle), 3. Clarain und 4. Vitrain, letztere beide POTONIÉs Glanz- oder Humuskohle entsprechend. Die Namen sind dem Französischen nachgebildet. Die Beschaffenheit von 1. ist bekannt; Durain ist hart, fest, körnelig, auch für das bloße Auge von feinen Glanzstreifen durchsetzt. Clarain, glänzender, mit Streifen von Dur. dazwischen, glatt, nicht körnelig; Vitrain schließlich ist hochglänzende Kohle, ganz ohne Bänderung, eine einförmig-glasartige-strukturlose Masse, würfelig brechend, spröde. An ungestörten Stücken von Kohle hat STOPES das Verhalten dieser 4 „Konstituenten" in mehrfacher Hinsicht untersucht, woraus wir hier nur zwei Methoden hervorheben. Die eine erinnert in vielem an die von BARSCH; es wurden Stückchen reiner Substanz 1 Woche lang mit starker HNO_3 + einige Tropfen HFl behandelt, dann mit starker KHO neutralisiert. Bei Wasserzusatz geht ein Teil der Kohle in Lösung; die überstehende Flüssigkeit zeigt verschiedene Färbung; die unlöslichen Rückstände zeigen unter dem Mikroskop verschiedene Beschaffenheit, nur Vitrain

Digitized by Google

geht vollständig in Lösung. Die mikroskopische Beschaffenheit der 4 Konstituenten ist kurz folgende. Vitrain ist vollständig strukturlos (also wahrscheinlich kolloidal ausgeschiedene Humusmasse); Clarain durchscheinend wie Vitrain, aber mit Pflanzenstruktur (und ohne Lignitoïd), außerdem Epidermen, Kutikulen von Sporen usw; Durain zeigt dunkle granulöse Grundmasse mit vielen Sporen dazwischen, wie Rosinen im Kuchen. Fusain s. oben S. 67.

Sehr schön sind die von WHITE und THIESSEN (1913) und JEFFREY (1914) veröffentlichten Kohlendünnschliffe; dieser Autor hat die Kohlen mit dem Mikrotom schneidbar gemacht, indem er bei der Mazeration HFl hinzuzog und als Neutralisationsmittel KHO + Alkohol verwandte. Es wäre wohl an der Zeit, daß die Rückständigkeit, die in der Untersuchung der Mikrostruktur deutscher Kohlen besteht, durch eine entsprechende Tätigkeit der Kohleninstitute etwas ausgeglichen würde. Es ist da noch sehr viel zu tun.

Spezielleres zur Synonymik der Sapropelite

Bei der großen Häufigkeit und praktischen Wichtigkeit der fossilen Sapropelite haben sie von der Wissenschaft und auch von der Praxis viele Namen erhalten. Im folgenden sei eine Auswahl vorgeführt.

Der am meisten kaustobiolithisches Material enthaltende Sapropelit der Tertiärformation ist das Dysodil. Man versteht darunter sowohl die reinen als auch die schon wesentlich mit anorganischen Sedimenten versehenen Materialien. Der Körper führt noch verschiedene Namen, deren Vorführung uns gleichzeitig mit wichtigen Eigenschaften dieses Sapropelits bekannt machen wird. In alphabetischer Folge wären es die folgenden: Blätterkohle (Blattkohle): Dieser Name bezieht sich auf die oft dünnblättrige Beschaffenheit, da das Material leicht in lufttrockenem Zustande in braune, papierdünne Blätter auseinander fällt. Daher auch der Name verhärteter Blätterton (JORDAN), der nach KEFERSTEIN (1826) ein „bituminöser Kalkmergel" des Tertiärs am Stösschen bei Linz am Rhein ist. Er hat „Ähnlichkeit mit Schuhsohle, Pappe und Papier". In der Benennung blättriges Erdpech ist gleichzeitig eine Andeutung über die chemische Beschaffenheit enthalten.

Chlorophyllkohle nennt C. O. HARZ (1889) das Dysodil, weil man bei der spektroskopischen Untersuchung des alkoholischen Auszuges noch Chlorophyll nachweisen kann, „welches sonach teilweise unbekannte Jahrtausende hindurch sich im Schoße der Erde erhalten hat". Wie in rezentem Sapropel — und hier sogar oft genug noch als mit dem Mikroskop nachweisbare Chlorophyllkörper — ist also Chlorophyll auch noch im tertiären fossilen Sapropel zu konstatieren!

Kieselkohle nannte HARZ das Dysodil wegen der „konstant vorhandenen großen Menge von Kieselsäure" in den von ihm unter-

Digitized by Google

suchten Proben, die aber zu den Kieselalgen (Diatomeen) „in keinerlei Beziehung“ steht. Dann handelt es sich offenbar um weiter nichts als um hineingeratenen Quarzfeinsand oder dergl.

Der Ausdruck erdpechhaltiger Polierschiefer ist auf EHRENBERG (1838 und 1846) zurückzuführen. Unser Gestein sei „offenbar ein von Erdpech durchdrungener Polierschiefer“. EHRENBERG faßte den Begriff Polierschiefer, das ist Diatomeenpelit, viel zu weit. Wenn auch gelegentlich eine größere Anreicherung von Diatomeen im Dysodil zu beachten ist, so treten sie doch meist sehr zurück. Wenn sie überwiegen, handelt es sich eben nicht mehr um Dysodil, sondern um Diatomeenpelit.

Ölschiefer heißt das Dysodil, weil es sich technisch auf Öl verarbeiten läßt.

Die verbreitete Bezeichnung Papierkohle, am Rhein auch Pappendeckel, bezieht sich auf die schon erwähnte Blättrigkeit.

Saprodil ist — wie oben gesagt — nur dasjenige Dysodil, das durch Vorherrschen von organischer Substanz dem Sapropel resp. Saprokoll entspricht, also reines Dysodil: das Zwischenstadium zwischen Sapropel bezw. Saprokoll einerseits und Sapanthrakon andererseits.

Der Ausdruck Schieferkohle erklärt sich wie Papierkohle.

Der Name Stinkkohle bezieht sich auf den beim Verbrennen „unangenehmen Geruch nach verdampfendem Paraffin und Petroleum“ (HARZ).

Bei den Franzosen liest man zuweilen von einer „terre bitumineuse feuilletée“ und dementsprechend bei uns von bituminösem Schiefer, erstens nach dem Paraffin und den CH-Ölen, den Bitumina, die die Verschwelung ergibt, und zweitens nach der Blätterung, Schieferung des Materials.

Die Synonyme Ölschiefer, Schieferkohle, Stinkkohle und bituminöser Schiefer sind gleichzeitig auch solche für ältere bituminöse Kaustobiolithe wie u. a. für Bogheadkohle des Palaeozoikums.

Dysodil hat nicht die erdige Beschaffenheit und den zuweilen rauhen, jedenfalls oft wenig deutlich muscheligen Bruch der Braunkohle i. e. S. (Humusbraunkohle), sondern ist, mit bloßem Auge gesehen, homogen-amorph, und hat einen deutlich muscheligen Bruch. Bergfeucht ist, wie schon gesagt, Dysodil oft noch von der etwas gallertigen Beschaffenheit, wenn auch fester als das rezente oder diluviale Saprokoll; lufttrocken ist es sehr fest und hart.

Allgemein ist das Dysodil ein tertiärer reiner oder unreiner Sapropelit, der bis 20 und mehr Meter mächtig auftreten kann. Sein Vorkommen ist stets ein Beweis für ein ehemaliges offenes, stagnierendes Wasser, das bei nachträglicher vollständiger Verlandung zunächst ein Sumpf und dann ein Moor wurde, falls nicht das Wasser schon vorher durch

Digitized by Google

organisches Sediment in seiner durch die Sapropelbildung eingeleiteten Verlandung zugedeckt wurde.

Nach chemischen Analysen, die HARZ von zwei Proben Dysodil mitteilt, fanden sich auf aschenfreie Substanz berechnet in der einen Probe

63,39 % C, 12,51 % H, 0,62 % N, 1,96 % S, 19,13 % O, 2,39 % H_2O,

in der anderen

36,04 % C, 3,98 % H, 0,72 % N, 53,26 % O.

Gegenüber den fossilen Humusbildungen ist der verhältnismäßig geringe Kohlenstoff- und der ungleich hohe Wasserstoffgehalt bemerkenswert. Die mikroskopische Untersuchung zeigt die Zusammensetzung des Dysodils, der aus einer amorphen Grundsubstanz, aus Beimengungen, die auf eine autochthone Sedimentierung von echten Wasserorganismen und ihren Resten hinweisen, und aus anderen Resten, die durch Drift aus der Nähe hineingeraten sind, besteht. So finden sich einerseits außer den schon erwähnten Diatomeen andere Algen im Palmellastadium, ferner Pollenkörner von Landpflanzen, die in das Wasser geflogen, gelegentlich in sehr großen Massen auftreten (S. 48), alles Bestandteile, die für den rezenten Sapropel charakteristisch sind. Es fehlen auch nicht Reste und Abdrücke von Insekten, Crustaceen, Fischen usw. und von Laubblättern und Holzstücken, von denen die beiden letzteren in das ursprüngliche Wasser hineingefallene Teile sind, welche also zu den Driftbestandteilen gehören. Dann ist noch hervorzuheben — außer der von den Organismen stammenden Asche, oft großenteils ihren Skelettteilen entstammend — ein mehr oder minder großer Gehalt von Calciumkarbonat, Ton und Quarzsand, die bei überwiegendem Vorhandensein zu bituminösen Kalken oder Tonen führen. Der $CaCO_3$-Gehalt ist meist auf organogene Tätigkeit zurückzuführen.

Ein Beispiel von Saprodil-Gestein hat BERTRAND (1898) untersucht in dem oligocänen „schiste de la gorge du Bois d'Asson". Dieser Kaustobiolith enthält 62,79 % anorganisches Material (Ton usw.), 3,52 % Wasser und 33,69 % organische Substanz. Diese zeigt sich unter dem Mikroskop bestehend aus einer reichlich vorhandenen amorphen Grundsubstanz, die eingebettet enthält tierische Reste, unter diesen auch *Spongillen*-Nadeln, von höheren Pflanzen sehr wenige unbestimmbare Partikelchen, ziemlich zahlreich *Algen*, unter diesen viele *Diatomaceen*, und endlich Pollen und Sporen.

Ein der Kreideformation angehöriger Sapropelit ist der ebenfalls von BERTRAND (1898) mikroskopisch untersuchte Kaustobiolith von Ceara (Brasilien) mit 40,45 % anorganischen Bestandteilen (Ton, Kalk usw.), 1,43 % Wasser und 58,12 % organischem Material. Die reichlich vorhandene amorphe Grundsubstanz enthält viele *Cypris*-ähnliche

Digitized by Google

Ostracoden-Schalen, unbestimmbare Pflanzenpartikel, Pollen-Tetraden (wie diejenigen von *Ericaceen*), sehr selten Sporen und äußerst selten Algen.

Über palaeozoische Sapropelite wurde schon im vorigen Kapitel (p. 53) näheres mitgeteilt.

Wie die entsprechenden rezenten, kaeno- und mesozoischen Sapropelite, so haben — wie gesagt — auch die palaeozoischen — wegen ihrer technischen Wichtigkeit — mannigfache Namen erhalten. Die wichtigsten derselben nebst Erläuterungen gebe ich alphabetisch in der folgenden Liste. Es sei nochmals auf die Ähnlichkeit, ja zum Teil vollständige Übereinstimmung der Bezeichnungen mit solchen, die auch für rezente Sapropelite Anwendung gefunden haben, hingewiesen. Es sind Namen, die aber von Autoren und Praktikern diesen Kaustobiolithen nicht mit Bewußtsein übereinstimmend gegeben worden sind, sondern — was für uns viel interessanter ist — die sich von selbst ergeben haben, veranlaßt durch die übereinstimmenden Merkmale der heutigen und der fossilen Kaustobiolithe, obgleich die Zustände als Saprokoll, Saprodil und Sapanthrakon in gewisser Hinsicht verschieden sind. In den folgend genannten Sapropeliten ist die organische Substanz im Sapanthrakonzustande vorhanden.

Als Algen-Kohle (charbon d'algues bei BERTRAND und RENAULT, englisch algal coal) wurde derjenige Sapropelit bezeichnet, dessen mikroskopisches Bild auffallend und massenhaft das Vorhandensein von Algen zeigt (siehe unter Bogheadkohle und Kerosinschiefer). Es ist festzuhalten, daß diese Algenkohle ganz anders beschaffen ist als die, die z. B. von MOHR (vergl. vorn p. 11) unkritisch angenommen wurde.

Bathvillit ist eine von einer schottischen Örtlichkeit abgeleitete Bezeichnung für ein Sapanthrakongestein.

Bituminit ist eine Generalbezeichnung für besonders bitumenhaltige Gesteine, d. h. fossile Sapropelite.

Bituminöser Schiefer (französisch: schiste bitumineux, englisch: bituminous shale). Die „bituminösen Schiefer" sind z. T. Übergangsbildungen von anorganischen (namentlich tonigen) Sedimentärgesteinen zu Sapanthrakon.

Blätterkohle heißen hier und da die Sapanthrakone z. B. auch die „Plattelkohle" von Nyřan bei Pilsen aus demselben Grunde wie beim Saprodil (p. 69).

Boghead, Boghead-Cannel, Boghead-Kohle, Boghead-Mineral — benannt nach einer schottischen Örtlichkeit Boghead — wird gewöhnlich ein verhältnismäßig aschenreiches Sapanthrakongestein genannt. Natürlich handelt es sich wesentlich um sekundäre Asche. Wenn auch stets daran zu denken ist, daß ein Aschengehalt als unverbrennlicher Überrest der Pflanzen und Tiere sich durch die fortschreitende Zersetzung wesentlich anreichern kann, so handelt es sich doch bei den

Digitized by Google

Bogheadkohlen in den mineralischen Zutaten weniger um Asche, sondern um reichliche Ton- und Kieselsedimente, die während der Bildung hinzugeführt wurden. Ist die mineralische Beimengung noch stärker, so würden wir ein brandschieferiges und endlich einen nur noch dunkel gefärbten Schieferton erhalten, womit allerdings selbstverständlich nicht gemeint ist, daß nun jeder durch organische Substanz dunkel gefärbte Schieferton zu den Sapropeliten gehört; denn der Schieferton hat seine Schwarzfärbung z. B. durch die Sumpfpflanzen, die in ihm wuchsen, erhalten, durch Infiltration und Untermengung mit gelösten Humussubstanzen usw. — Die als Boghead bezeichneten Kaustobiolithe sind daher gewöhnlich minderwertiger als die reinere Cannelkohle (siehe dort), aber doch noch oft höchst wertvolles Material.

Bogheadcannelkohle ist ein zuweilen verwendeter Ausdruck, der wie Boghead-Cannel sagen will, daß die Boghead- und Cannelkohlen technisch zusammengehören.

Brandschiefer (englisch Fireclay). Dunkle, oft halb kohlige Schiefer, die z. T. zu den bituminösen Schiefern gehören, z. T. aber zu den humushaltigen Gesteinen, einem fossilen anmoorigen Boden entsprechend.

Braune Cannelkohle (englisch Brown Cannel) wurde von W. B. Clarke (1866) der Kerosinschiefer Australiens und der Torbanit im Gegensatz zu der Schwarzen Cannelkohle (Black Cannel) genannt. Gewisse Cannelkohlen, z. B. diejenige von Rußland, erinnern übrigens noch weit mehr durch ihre braune Farbe an lufttrockenen Faulschlamm als der Kerosinschiefer, so daß bei bloßer makroskopischer Betrachtung geradezu eine Verwechslung mit Faulschlamm möglich wäre (vergl. p. 53). — Den Braunen Ölschiefer (Brown Oilshale) von Boxburn hat Bertrand (1898, p 13ff.) untersucht, weshalb wir ihn wiederum hier hinsichtlich des mikroskopischen Inhalts näher betrachten. Dieser permokarbone Sapropelit enthält 67,18 % anorganische Sedimente, 2,89 % Wasser und 29,93 % organisches Material, und zwar außer der amorphen Grundsubstanz wenig Algen-Wasserblüte, wenig Pollen und Sporen, andere nicht näher bestimmbare Pflanzenpartikel wie Cuticulae, und wenige Ganoidschuppen. Die figurierten Bestandteile treten also sehr zurück, woraus wir schließen dürfen, daß wenig Gelegenheit vorhanden gewesen ist, verhältnismäßig frisches Material zur Einbettung zu bringen.

Brettelkohle siehe Plattelkohle.

Cannel- (Kännel-) Kohle (vergl. p. 51) heißen gewöhnlich die reineren palaeozoischen Sapropelite im Gegensatz zu den Bogheadkohlen.

Candelit (Gümbel 1883 p. 161) = Kännel-Kohle.

Charbons gélosiques nennt Bertrand die mehr oder minder Sapanthrakon enthaltenden Sapropelite, die im mikroskopischen Bilde

Digitized by Google

wie fossile Gallerte aussehen; Ch. humiques sind nach ihm die genannten Sapropelite, weil er die Grundsubstanz für aus Schwarzwasser niedergeschlagene lösliche Humusstoffe hält (vergl. p. 24). Ch. de purins nennt er diejenigen Sapropelite, deren figurierte Teile reichlich Exkremente (Koprolithen) von Tieren und Tierreste sind.

Cherry coal (Kirschkohle) ist ein schottischer Ausdruck für einen Cannel oder Boghead.

Fackelkohle. Erklärung unter Kännelkohle.

Faulkohle, abgekürzt für Faulschlammkohle, ist jede Kohle, die wesentlich aus Faulschlamm hervorgegangen ist.

Fischkohle, bituminöser Fischschiefer u. dergl. sind Sapropelite, angeblich aus Fischen gebildet. Natürlich beweist das Vorkommen von Fischresten in Sapropeliten nicht, daß diese so gut wie ausschließlich das kaustobiolithische Material geliefert haben (vergl. p. 59).

Gaskohle (englisch Gas Coal) heißen alle „fetten", d. h. die bei der Destillation Gas, Öle usw. abgebenden Kohlen, daher sind die fossilen Sapropelite auch Gaskohlen im weiteren Sinne. Wenn sie deutlich geschiefert sind oder reichlicher Sedimente enthalten, spricht man auch von Gasschiefer. So wird z. B. auch die Plattelkohle von Nürschan (Nyřan) (siehe dort) genannt.

Grahamit von West-Virginien ist ein cannelkohlenartiger Sapropelit.

Hartleyit, nach dem Ort Hartley auf Tasmanien, ist ein Synonym für Kerosinschiefer.

Kännelkohle = Cannelkohle.

Katzenstein heißt nach HORNUNG (1905 p. 554) ein Stinkkalk in der Stolberger Gegend (Harz), weil der Geruch des in ihm enthaltenen Bitumens an den von Katzenharn erinnert.

Kerosinschiefer (englisch Kerosene shale) ist eine in Neu-Süd-Wales (Australien) gebräuchliche Bezeichnung für den dortigen palaeozoischen, ziemlich stark sapanthrakonhaltigen Sapropelit. J. R. M. ROBERTSON sagt (1892) Kerosene Coal (Kerosinkohle). Kerosin ist bekanntlich ein Synonym für raffiniertes Petroleum (Brennpetroleum), das namentlich durch Destillation aus dem Kerosinschiefer (vor der heutigen großen Petroleumgewinnung aus Quellen) dargestellt wurde. Der Kerosinschiefer ist so algenreich wie der Boghead Autuns (vergl. p. 55 unsere Figuren 26, 27). Der Kerosinschiefer, von dem unsere Fig. 27 stammt, enthielt nach BERTRAND (1896) rund $^1/_{10}$ anorganisches Material, das übrige war Bitumen usw., kurz organische Substanz. Es fanden sich in der organischen amorphen Grundsubstanz außer unbestimmbaren Partikeln von Pflanzen und Tieren und vielen Algen auch einige Pollenkörner und Sporen. Kerosinschiefer von anderen Örtlichkeiten enthält 30—35 % Asche usw.

Kerzenkohle = Kännelkohle.

Digitized by Google

Kolm (schwedisch), ein mit Boghead verwandter Sapropelit von Rånnum nördlich von Billingen in Schweden.

Lucullan ist Stinkkalk.

Ölkohle bezw. Ölschiefer (englisch Oil shale) sind bei der Destillation Öl liefernde Sapanthrakone bezw. Sapropelitschiefer, z. B. wird der Posidonienschiefer in Lias ε als Ölschiefer bezeichnet, ebenso Kerosinschiefer usw.

Papageikohle (englisch Parrot Coal) ist eine schottische Bezeichnung, die sich auf das knackende Geräusch bezieht, das durch explosionsartiges Zerspringen des Torbanits zustande kommt, wenn er ins Feuer getan wird.

Paraffinschiefer (Paraffin shale von Schottland) ist ein technisch wesentlich auf Paraffin verarbeiteter Sapropelit.

Petroleum-Cannelkohle (englisch Petroleum Oil Cannel-Coal. Mit diesem Pleonasmus von CARNE 1903 p. 39 angegeben) ist ein Ausdruck, der oft von JOHN MACKENZIE 1887 usw. gebraucht wurde.

Plattelkohle (Blattelkohle, Brettelkohle) heißt der sapanthrakonreiche Sapropelit des Permo-Carbons von Nürschan (Nyřan) usw. bei Pilsen in Böhmen, der bei seiner auffallenden Schieferung leicht in Platten oder Brettchen zerfällt wie viele rezente Saprokolle.

Pyroschist (englisch) ist ein Ausdruck, den STERRY HUNT (1891) an Stelle der Bezeichnung bituminöser Schiefer (bituminous shale) vorschlägt, sofern sie erst durch die bei der Destillation wirkende Hitze bituminös werden.

Schwarze Cannelkohle (englisch Black Cannel) siehe Braune Cannelkohle.

Schieferige Cannelkohle (englisch shaly Cannel) wie die Plattelkohle schiefernd.

Splint- (oder Splent-) coal ist ein schottischer Ausdruck für ein hartes, blättriges Sapanthrakongestein wie die Plattelkohle. Der Name ist der Eigenschaft der Kohle entnommen, in biegsame Brettchen oder Blätter zu splittern (splinting oder splenting), daher auch der deutsche Name Splitterkohle.

Stinkstein, wie Stinkkalk usw., heißen alle Sapropelite, die beim Anschlagen auffallend bituminös riechen.

Torbanit ist abgeleitet von der schottischen Örtlichkeit Torbanehill (daher auch Torbane-hill Mineral). Es handelt sich um eine Cannelkohle, die nach BERTRANDS Untersuchung (1892 und 1897) an organischem Material unter dem Mikroskop in der üblichen amorphen Grundmasse zu erkennen gibt: nicht gar zu viele Algen (*„Pila"*), Sporen und viele Pollen sowie unbestimmbare Pflanzenpartikel. Schon DAVID hat (1889) die Algen erkannt.

Wachsschiefer ist eine gelegentlich hier und da auftauchende Bezeichnung, z. B. für Kerosinschiefer.

Digitized by Google

Wollongongit. Nach CARNE 1903 p. 39 hätte SILLIMAN 1869 damit den Kerosinsciefer von Hartley bezeichnet in der irrtümlichen Annahme, daß er von Wollongong in N. S. Wales stamme.

Besondere Sapropelite mit reicheren akaustobiolithischen und anorganisch-mineralischen Zutaten

Von Sapropeliten mit so vielen anorganisch mineralischen oder akaustobiolithischen Zutaten, daß die Gesteine dadurch einen besonderen Charakter erhalten, sind außer schon vorher genannten in erster Linie die folgenden noch besonders hervorzuheben.

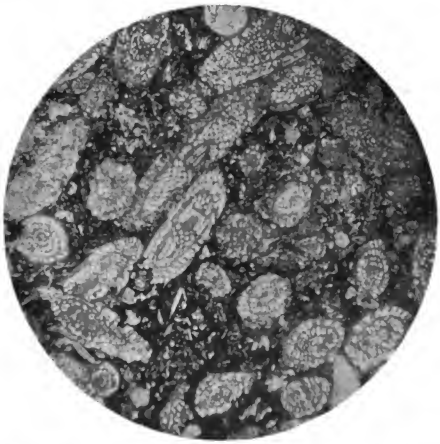


Fig. 31. Schliff durch Fusulinen-Faulkalk; die schwarze Grundsubstanz ist zum großen Teil Asphalt. Oberkarbon von Spitzbergen. (Den Schliff verdanke ich Herrn Dr. VON STAFF.)

Sapropelit-Kalke.

Bei der leichten Umkristallisierbarkeit und überhaupt molekularen Beweglichkeit des Kalkes sind figurierte Bestandteile oft zerstört und daher nicht mehr wahrnehmbar. Sind aber diese groß, so können sie lange bezw. „dauernd" erhalten bleiben wie Molluskenschalen, von denen solche Sapropelite oft gespickt sind. Große Foraminiferen wie Fusulinen des Palaeozoikums (Fig. 31), Nummuliten des Tertiärs, die Kalkskelette

Digitized by Google

von Algen wie von *Phacotus* im Miocänkalk von Oeningen oder Characeen-Thallusteile und Characeen-Sporangien machen ebenfalls gelegentlich die Hauptmasse des Gesteins aus.

Die vom Palaeozoikum ab vorkommenden bituminösen Mergelschiefer sind wesentlich Kalk-Ton-Sapropelite. Der „bituminöse Mergelschiefer" (Kupferschiefer) des Zechsteins von Mansfeld enthält rund 8—20 % Bitumen.

Die oben erwähnte „Empfindlichkeit" des Kalkes mag eine eigentümliche Erscheinung mit sich bringen, die sowohl an Saprokoll- als auch an Saprodil- und Sapanthrakon-Kalken zuweilen zu beobachten ist, daß sich nämlich Kalk und organische Substanz unter Umständen, die noch näher zu untersuchen sind, trennen. Man findet dann gewissermaßen wie marmoriert oder mosaikartig fast reinen, nur schwach bituminösen Kalk oder bei jüngeren Sapropeliten auch pulverigen Kalk getrennt von dunkleren Teilen, die reich an kaustobiolithischer Substanz sind. Unter andern ist der pulverförmige Saprodil-Kalk von Mellilli in Sizilien beachtenswert, wo das Gestein öfter in fast reine Dysodillagen und Lagen mit bituminösem Kalk gesondert erscheint. Eventuell sind auch manche mosaikartigen Asphaltkalke hierher zu rechnen.

Kieselsubstanz enthaltende Sapropelite.

Von mehr oder minder den Sapropeliten angenäherten reichlich oder vorwiegend Kieselsäure enthaltenden Gesteinen sei auf den eocänen Menilit-Schiefer aufmerksam gemacht von Menil-Montant bei Paris und den oligocänen Menilit führenden Mergelschiefer Galiziens, der mit seinem Bitumengehalt das Muttergestein des dortigen Petrols sein könnte. Bemerkenswert sind in diesen Schiefern Opalknollen aus „Menilit" (Leberopal) ähnlich den Feuersteinen der Schreibkreide. Sie sind entstanden aus der Auflösung und der knolligen Wiederausscheidung von Kieselsäure aus den Panzern von *Diatomeen* usw., deren mehr oder minder korrodierte Schalen sich auch noch z. T. bei Menil-Montant im Gestein finden. Opal ist bekanntlich wasserhaltige Kieselsäure ($SiO_2 + aq$), aus der auch die Kieselpanzer der Organismen (*Diatomaceen* und *Radiolarien*) und die *Spongillen*-Nadeln zusammengesetzt sind. Diese Bestandteile kann man meist noch figuriert in diesen Mergelschiefern konstatieren. Gewöhnlich aber sind Diatomeen in älteren Mergelschiefern nicht zu finden. Die ältesten bekannten Reste, die vielleicht *Diatomeen*-Schalen sein könnten (wenn nicht solche von *Peridineen*, die keinen Kieselpanzer haben), stammen aus Hornschwämmen in einem stark bituminösen Mergelschiefer des Jura (Posidonienschiefer). Weil Kieselpanzer der Diatomeen verhältnismäßig leicht löslich sind, sind sie um so weniger figuriert erhalten zu erwarten, je älter der betreffende Horizont ist, in welchem man sie sucht. Wegen ihrer Zartheit und großen Oberfläche lösen sie sich leicht auf.

Digitized by Google

Aus der Lösung scheidet sich dann unter geeigneten Umständen das Kieselsäurehydrat in Form von Knollen als Feuerstein, Menilit u. dergl. wieder ab. Mergelschiefer, die mehr oder minder ausgelaugt und dadurch porös geworden sind (daher Klebschiefer, Hauers Smilno- oder Amphisylenschiefer), führen solche Konkretionen besonders reichlich, da hier die Wasserbewegung, als Bedingung zur Lösung von Kieselskeletten, reichlich geboten war. Wo die Wasserbewegung fehlte oder zurücktrat, blieben die Schalen natürlich sehr viel länger figuriert erkennbar, wie z. B. im oligocänen „Polierschiefer" von Bilin in Böhmen, der bekanntlich seinen Namen deshalb führt, weil die Schärfe der kleinen Kieselschalen den Biolith als Poliermittel geeignet macht. Es gibt demnach natürlich alle Übergänge bis zu Gesteinen, in denen fast alle Schalen gelöst sind und ihre Substanz amorph wieder niedergeschlagen ist. Die parallele Anordnung der Feuersteine in der Kreide, die freilich zu den Akaustobiolithen gehört, scheint bei der allmählichen Hebung der Kreide auf den jeweiligen Wasserstand hinzuweisen. Denn die der Auflösung folgende Fällung kann nur über dem Wasserspiegel stattgefunden haben. Der Niederschlag erfolgte dann jedesmal unmittelbar über dem jeweiligen Grundwasserspiegel. Die Menilit führenden Mergelschiefer gleichen in ihrer mineralogischen Zusammensetzung und hinsichtlich ihres Gehalts an figurierten Bestandteilen den bei uns rezent und subfossil sehr häufigen tonhaltigen Diatomeen-Kalk-Sapropelen resp. Diatomeen-Sapropel-Kalken (hierher gehört z. B. auch die sogenannte Berliner Infusorien-[Diatomeen-]Erde). Bedingungen, die tonig-feinsandige Sedimente in einem Wasser schaffen, das Organismen mit Kalkinkrustationen und Kalk- und Kieselskeletten eine reiche Entwickelung gewährt, sind sehr häufig.

Eisenhaltige Sapropelite.

Auch hinsichtlich der Eisenverbindungen, die einerseits in den Kohlenlagern (des Carbons, Tertiärs usw.) oder in Verbindung mit ihnen (in den Bergmitteln) auftreten und anderseits in oder in der Nähe rezenter Sapropel- und Humusbildungen häufig sind, besteht zwischen den Steinkohlen- und den Torflagern eine Parallele. Besonders wichtig sind die Toneisensteine (tonige Sphaerosiderite, Sphaerosiderit-Septarien, Pelosiderite) und der zwar ebenfalls häufige, aber gegenüber dem Toneisenstein zurücktretende Pyrit (Schwefelkies).

Die Toneisensteine (im wesentlichen Ferrokarbonat mit Ton) sind den Ferrokarbonaten der Flachmoore vergleichbar. Ihre ebenfalls meist tonhaltigen Limonite würden durch die Fäulnisprozesse auch zu Ferrokarbonaten werden. Fast in jedem Wasser ist lösliche Tonerde wenn auch nur in Spuren vorhanden. Die Bedingungen des Absatzes sind

Digitized by Google

dieselben wie für die gelösten Eisenverbindungen, so daß sie sich zusammen als Toneisenmineralien absetzen.

Die Toneisensteine der Steinkohlenlager enthalten zuweilen strukturbietende Reste höherer Pflanzen, deren anatomischer Bau daher der Untersuchung zugänglich ist. Da die Pflanzenreste unverdrückt sind, müssen die Toneisensteine in der Tat „fast unmittelbar nach der Fertigstellung der Ablagerung der Schichtmassen" entstanden sein (STUR 1885 p. 635), oder im Vergleich mit den heutigen Mooren können wir daraus schließen, daß die Eisenbildung zur Zeit der Torfbildung selbst stattgefunden hat.

STUR nennt die in Rede stehenden Bildungen, sofern sie in Kohlenlagern stecken, direkt Torfsphaerosiderite oder Torfrundmassen. Treten die Toneisensteine (wie gewöhnlich) im Hangenden oder Liegenden der Kohlenlager, in den Bergmitteln auf, so haben wir meistens reine Konkretionen vor uns, bei denen das Zentrum Pflanzenreste bilden, die sich nach dem Auseinanderschlagen dann noch oft in den Knollen vorfinden. Zuweilen treten die Toneisensteine zu Lagen dicht zusammen, und es können sogar Toneisenstein-Lager entstehen. In manchen Fällen (Ruhrrevier, Gr.-Britannien usw.) treten „Kohleneisenstein"- (Spateisenstein-, $FeCO_3$-) Lager (Blackband der Engländer) auf, die Eisensapropelite sind. Im großen sind es ja sapropelbildende Organismen, die in Mooren Eisenverbindungen niederschlagen. Sind viele solche Organismen vorhanden, oder geschieht der Eisenniederschlag in einem Sapropel, so wird ein Eisensapropelit daraus. So treten die Blackbands wie die anderen Sapropelite (Cannelkohle usw.) ebenfalls oft unmittelbar unter Steinkohlenlagern auf[1]).

Das Vorhandensein von Pyrit in den Kohlenlagern und Sapropeliten, überhaupt in allen Gesteinen, die von Organismen herstammende Kohlenstoffverbindungen enthalten, erklärt sich aus dem Vorhandensein von Schwefel in den Organismen, der sich bei Reduktionsprozessen mit dem Eisen verbindet. Besonders viel Schwefel hat die Tierwelt bei der Entstehung der Sapropelite geliefert. Gerade diese sind oft durch so große Schwefelkiesquantitäten ausgezeichnet, daß sie deshalb als „Alaunschiefer" (Vitriolschiefer) oder bei noch unverfestigter Beschaffenheit als „Alaunton" (Vitriolton) technische Verwendung finden können. Auch wenn schwefelsaure Salze des Meereswassers mit Sapropeliten in Verbindung treten, entsteht oft Alaunschiefer oder Alaunton. Beide sind meist noch bituminöse, stark schwefelkieshaltige Mergelschiefer oder

[1]) P. E. MÜLLER-Kopenhagen deutete (1887 p. 159) nur vorsichtig auf die Möglichkeit des Vorkommens von Eisenortstein im Carbon hin. E. RAMANN, der wohl durch die MÜLLERsche Anmerkung angeregt wurde, hat dann das Vorkommen von Ortstein im Carbon behauptet (1896). Wirklicher Eisenortstein ist aber aus dem Carbon nicht bekannt.

Digitized by Google

-tone, also Sapropelite mit hohem Schwefeleisengehalt, wie solche sich heute besonders an ruhigen Meeresküsten und in Buchten leicht durch den Einfluß der S-Salze des Meerwassers bilden (vergl. POTONIÉ „Die rezenten Kaustobiolithe", Bd. I, p. 208—210). Bekanntlich führt das Gestein im fossilen Zustande seinen Namen, weil es nach seiner Verwitterung oder Röstung Alaun liefert, indem zunächst durch Oxydation des Kieses H_2SO_4 (Vitriol) entsteht, sodann Sulfate, auch des Aluminiums (Alann).

Gagat.

Zum Schluß dieses Abschnittes über die fossilen Sapropelite sei noch auf einen solchen hingewiesen, der uns gleichzeitig Gelegenheit gibt, das Wesen des Gagats (von dem Flusse Gages in Lykien, wo sich im Altertum das Mineral als Geschiebe im Alluvium gefunden hatte) zu besprechen. Wir meinen den marinen, tonreichen, schwarzblauen Posidonienschiefer des oberen Lias. Er kann soviel Bitumen enthalten, daß er in Gomaringen und in Reutlingen in Württemberg von den Zementfabriken als Brennmaterial benutzt wird. Die sogenannte Kohle von Geilsheim, die abgebaut wird, ist bituminöser Schiefer mit sehr schwachen glanzkohligen Partikeln von wohl wesentlich eingeschwemmten Landpflanzenarten.

Die große zusammenhängende Verbreitung des Posidonienschiefers in Württemberg und an anderen Orten würde auch ohne die Tatsache, daß er sehr viele Meerestierreste enthält, für eine Meeresbildung sprechen. Es handelte sich offenbar um eine Flachsee, vielleicht um eine Art Wattenmeer, in dem die Sedimentation erfolgte; die Reste der in dem Wasser an Ort und Stelle lebenden Organismen zusammen mit sehr viel durch die Fluten herbeigedriftetem Material wurden darin aufgenommen. Makroskopisch sichtbar sind in dem Posidonienschiefer zahlreiche Tierreste vorhanden: *Seeigel*, *Crinoideen (Pentacrinus*, der, da er nicht in dem beweglichen Schlamm aufgewachsen sein konnte, gewiß den darin befindlichen Floßhölzern nach abwärts anhing), *Brachiopoden*, *Lamellibranchiaten* (unter diesen *Posidonomya Bronni*, die dem Schiefer den Namen gegeben hat), *Gastropoden*, *Würmer*, *Cephalopoden*, *Crustaceen*, *Fische* und *Reptilien* (z. B. *Ichthyosaurier*). Von Landbewohnern sind *Insekten (Coleopteren)* und *Reptilien (Pterosaurier)* sowie auch hineingedriftete Pflanzen *(Cycadales* und *Coniferen)* vorhanden. Unter den Driftpflanzenresten sind die „Floßhölzer" für uns besonders bemerkenswert, weil sie in Gagat umgewandelt sind. Die große Zähigkeit des Gagats, seine schöne Schwärze und Politurfähigkeit haben ihn bekanntlich zu einem beliebten Schmuckstein gemacht. Die berühmteste, freilich jetzt erschöpfte Fundstelle von Gagat, Whitby in England, gehört ebenfalls dem Posidonienschiefer an. Er kommt aber auch in anderen geologischen

Digitized by Google

Formationen vor. Geraten in einen Sapropelit Hölzer wie in den Schlamm des Posidonienschiefers, so wird mehr oder weniger vollständig Gagat daraus. Man findet im Posidonienschiefer Übergänge von dem ganz homogenen Gagat zu Holzresten, die als solche sogar schon makroskopisch sofort zu erkennen sind. GÜMBEL hat (1883 p. 157—159) nachgewiesen, daß es sich um Holz vom *Gymnospermen*-Typus handelt, was u. a. auch SEWARD (1904) bestätigt hat. BOWER (nach SEWARD) nahm an, daß das Gagatholz durch Destillate aus der Umgebung imprägniert wäre; das Gestein, in welchem Gagat vorkommt, ist in der Tat, wie gesagt, stets sehr bitumenreich, wie denn auch das Vorkommen von Gagat in Gemeinschaft mit primär Petroleum führenden Schichten längst bekannt ist (s. HÖFER 1888 p. 2).

Mikroskopisch hat ROTHPLETZ (1896 p. 905 ff.) im Posidonienschiefer früher für Tangfossilien gehaltene und in der Tat äußerlich an *Fucus* erinnernde Bildungen (*„Phymatoderma"*), die der genannte Autor für *Spongien* hält, untersucht und bei dieser Gelegenheit Objekte gefunden, die wohl Spongienfasern von *Hornschwämmen* und „verkalkte Spongiennadeln" sind. Ferner ergaben sich *Foraminiferen*-Gehäuse, *Coccolithen* (Kalkscheibchen, die zu Algenskeletten gehören) und Organismenschalen (*„Stephanopyxis* subgenus *Pyxidicula"*), die allgemein als die ältesten Diatomeen gelten.

Der Posidonienschiefer hat nach alledem seinen bituminösen Charakter gewiß zum größten Teile von den zahllosen tierischen Resten, aber gewiß auch von Algen, die er eingebettet enthält. Ein bestimmtes Lager des Schiefers nennt QUENSTEDT die „Kloake", weil hier besonders viele tierische Reste, besonders von Wirbeltieren, angehäuft sind, die aber nur selten noch zusammenhängend auftreten. An den Ausdruck QUENSTEDTs erinnert übrigens derjenige BERTRANDS: charbon de purins (vergl. p. 73).

W. GOTHAN (1906 und 1908) hat dann nachgewiesen, daß das Sapropel in den Muttergesteinen des Gagats in der Tat — wenn auch in anderem Sinne als BOWER bei dem Bitumen annahm — für die Gagatentstehung wesentlich ist. Es gibt nämlich rezente oder auch subfossile Ablagerungen, die sich mit den fossilen in Parallele setzen lassen. Die sich in solchen Ablagerungen findenden Driftholzstücke, die sich sehr lange Zeiträume hindurch in unversteintem Zustande, selbst bei starker Verrottung, ohne zusammenzusinken, erhalten, nehmen, wenn das umgebende Medium das Wasser verliert, unter außerordentlich starker Schrumpfung, die zum fast völligen Verlust der anatomischen Struktur führen kann, eine sehr feste homogene Beschaffenheit an, wobei eigentümliche Zickzackstrukturen auftreten, die denen des Gagats ähnlich sind. Befinden sich in den Gesteinsmedien Mineralbestandteile gelöst, so können durch diese die Hölzer echt versteint werden, andernfalls

Digitized by Google

sinken sie zusammen und nehmen mit der Zeit homogen-kohlige Beschaffenheit an. Ist nun das Gesteinsmedium ein Sapropelit, so nimmt das Holz auch Sapropelbestandteile auf, die diesem später einen sehr hohen Bitumengehalt geben. Dies trifft für den Gagat zu, der daher als Holz den Inkohlungsprozeß, wegen seiner Sapropel- bezw. Bitumenumgebung die Bituminierung durchgemacht hat. Die homogen-kohligen Holzstücke, die man so oft im Ton usw. findet, sind kein Gagat, von dem sie schon physikalisch durch größere Brüchigkeit und Sprödigkeit abweichen.

Es finden sich Gagat und echt versteinerte Hölzer fast stets zusammen, oft an demselben Stück. Eine „Anreicherung" des Bitumens in Gagatstücken und deren nächster Umgebung im Gestein ist erwiesen durch eine Analyse des Gagat nnd des umgebenden Gesteins. Gagat enthält 85—95% Bitumen; stark bituminöser Kalk unmittelbar am Jet 46%; weniger bituminöser Kalk, diesen einhüllend 25%; das normale Muttergestein (Jetrock) 5,4%. Dementsprechend besitzt Gagat einen hohen H-Gehalt, so nach BRUNNER (1879) der Gagat aus dem Lias von Holzmaden 71,0 C, 7,7 H, 23,3 O, Spuren N und S, 0,9—2,9 Asche. Wichtig ist für den Gagatprozeß noch die beim Transport erlittene starke Verrottung und Erweichung der Holzstücke, in die daher Hartkörper (*Belemniten* usw.) sich hinein- oder abdrücken konnten.

Historisch bemerkenswert ist der schon 1811 von PARKINSON veröffentlichte Satz über den Gagat: „It may be considered as possessing the intermediate place between the purer bituminous matters and coals." Man vergleiche mit dem oben Gesagten auch die Angabe von J. E. CARNE, der von Gagatvorkommen im Kerosinschiefer Australiens spricht und sagt (1903 p. 81): „The jet ... occurs usually replacing or constituting plant stems (*Vertebraria*)", und *Vertebraria* heißen die Rhizome von *Glossopteris*, von Landpflanzen. Daher denn auch in der Literatur Gagat als eine Varietät von Sapanthrakon (Cannelkohle) angegeben wird; aber das Fehlen eines klaren Prinzips für die Klassifikation der Kaustobiolithe wird auch beim Gagat dadurch wieder ins Licht gerückt, daß er, um ihn irgendwo unterzubringen — von den Autoren gewöhnlich zur Braunkohle und zwar als Synonym zu „Pechkohle" gestellt wird. Synonyme für Gagat sind sonst: englisch (auch im Deutschen oft so genannt) Jet, französisch jais und jayet, schwarzer Bernstein (lateinisch succinum nigrum bei PARKINSON 1811). GÜMBEL (1883 p. 156—157) schlägt als wissenschaftlich-internationalen Terminus Gagatit vor.

Petroleum, ein abgeleiteter Sapropelit

Petroleum (oleum petrae und bitumen fluidum der mittelalterlichen Gelehrten), das bekannte Gemisch flüssiger Kohlenwasser-

Digitized by Google

stoffe, führt verschiedene Namen, zu deutsch bekanntlich Steinöl, auch Bergöl, sonst auch Naphtha (vom medischen nafata = herausschwitzen), Rangunöl in Birma. Quirinusöl (nach dem heiligen QUIRINUS) heißt es am Kloster am Tegernsee, wo es als Quelle ausfließt und dort medizinische Verwendung fand. Schon bei HERODOT kommt es unter dem Namen Pissasphaltum vor.

Daß man Petrolea auch auf anorganischem Wege darstellen kann, hat zu Theorien Veranlassung gegeben, die die Entstehung der Öle ohne Zuhilfenahme der organischen Reste zu erklären versuchten. BERTHELOT (1866) meinte, daß es ganz unorganischen Ursprungs sei, indem es im Erdinnern durch gegenseitige Einwirkung bestimmter Verbindungen entstünde. MENDELEJEW (1877) nimmt ein glutflüssiges Erdinnere mit Kohlenstoffverbindungen von Metallen (Karbiden), besonders von Eisen an, die mit Wasser zusammentretend Metalloxyde und Kohlenwasserstoffe ergeben usw. So sei daran erinnert, daß glühendes Roheisen, das ja C enthält, bei Zusammentreffen mit H_2O, ferner Kalziumkarbid mit H_2O ohne weiteres und Roheisen mit Salzsäure übergossen Kohlenwasserstoffe ergeben. Die von MENDELEJEW vertretene Ansicht ist ursprünglich von A. v. HUMBOLDT angeregt worden. Schon die Elementaranalyse der Petrolea widerspricht dieser Hypothese: sie enthalten neben C und H auch S und N.

Solche Hypothesen sind so lange beiseite zu schieben, bis nachgewiesen wird, daß die hierbei notwendigen Bedingungen in der Natur im Großen gegeben sind oder gegeben waren. Daß der Harnstoff (seit WÖHLER) auf anorganischem Wege darstellbar ist, hat niemand zu der Anschauung verleitet, daß er nun auch in der freien Natur so entstehen müsse wie künstlich im Laboratorium; denn die natürlichen Bildungsstellen des Harnstoffes im Organismus kannten wir schon vorher. Die Entstehung des Petroleums ist schwieriger zu erklären, weil wir hier erst nach den natürlichen Bedingungen suchen müssen, die die vorhandenen Quantitäten ausreichend begreifen lassen. Nun, die Muttergesteine der Petrolea sind tatsächlich in sehr ausreichendem Maße vorhanden. Es sind das eben die fossilen Sapropelite, die Faulkohlen (Sapanthrakone) bis zu den Sapropeltonen (den meisten bituminösen Schiefern) und Sapropelkalken (den meisten bituminösen Kalken).

HÖFER und ENGLER haben die tierische Herkunft von Petroleum begründet, so daß heute — besonders seitdem es C. ENGLER in Karlsruhe 1889 gelungen war, unter Destillation bei höherer Temperatur (Druckdestillation bei 15—20 Atmosphären und einer Temperatur von 350° und darüber) aus tierischem Fett künstliches Petroleum zu erzeugen — bei den Eingeweihten kein Zweifel darüber herrscht, daß das Petroleum aus Resten von Lebewesen stammt, daß es also organischen Ursprungs ist.

Digitized by Google

Zur Beschaffung des notwendigen Urmaterials glaubt man noch vielfach einer Katastrophentheorie zu bedürfen, nach der, durch besondere Umstände veranlaßt, Massengräber von Tieren entstanden sein sollen als Urmaterialien der Petrolea. BERTELS z. B. (1892) — um nur einen anzuführen — meint, Petroleumentstehung sei nur möglich: 1. beim Vorhandensein größerer Massen von Meerestieren, insbesondere von Mollusken, 2. bei einem Festland mit steilen Uferrändern, von denen periodisch bei stärkeren Niederschlägen mit reißender Gewalt große Schlammassen ins Meer geworfen werden konnten, durch die die Lebewelt begraben wurde.

Die einen Autoren sind mehr für die Herkunft aus dem Pflanzenreich, die anderen — unter ihnen als einer der ersten L. v. BUCH — für diejenige aus dem Tierreich.

Die Theorien, die nun wieder auf Grund solcher und anderer Tatsachen für die Genesis des Petroleums einseitig ausschließlich Tiere oder ausschließlich Pflanzen in Anspruch nehmen, knüpfen ebenfalls nicht hinreichend an die gegebenen Verhältnisse in der Natur an.

Die Wahrheit ist, daß sowohl Tiere wie auch Pflanzen und unter diesen in hervorragender Weise die so stark vertretenen Ölalgen die Ausgangsmaterialien für die Petroleumbildung enthalten. Die Sapropelgesteine sind generell phytogene und zoogene Gesteine, sie sind die Muttergesteine der Petrolea. Die Sapropelbestandteile in den Sapropelgesteinen sind die Urmaterialien der Petrolea, und diese Sapropelbestandteile stammen — daran sei hier ganz besonders erinnert — im wesentlichen von untergegangenen Kleinorganismen.

Es sind alltägliche und ständig zusammenwirkende Umstände, die hinreichende Mengen von Sapropel schaffen, um die Mengen des vorhandenen Petroleums zu erklären, die unter häufig in der Erdrinde gegebenen Umständen als Destillationsprodukt aus dem Sapropel entstehen können. Dr. L. CAR macht mich darauf aufmerksam, daß auch er bereits 1900 auf die Wichtigkeit des Planktons als Urmaterial des Petrols hingewiesen hat.

Die (Verlegenheits-)Hypothesen, die unbedingt mehr oder minder weitgehende Katastrophen für notwendig halten, um die hinreichende Quantität organischer Massen zu erklären, sind also durchaus zu entbehren. Sie verwickeln einfache Vorgänge; denn mehr oder minder stagnierende Wasser, in denen organisches Material abgelagert werden konnte, sind immer reichlich vorhanden gewesen. Wo gelegentlich durch eine Katastrophe ein massenhaftes Absterben mit nachfolgender Einbettung von Tieren oder solchen Pflanzen, deren Reste Bituminierungstendenz haben, stattfindet, wird sich natürlich ebenfalls ein Petroleum-Muttergestein bilden können; aber solche Katastrophen sind unter-

Digitized by Google

geordnete Erscheinungen, die das Zusammentreffen besonderer Umstände erfordern, während die Bedingungen zur Entstehung von Sapropelgesteinen sehr einfach sind, seit der Bildung von Sedimentgesteinen immer gegeben waren und daher auch heute an sehr vielen Punkten der Erde vorhanden sind. Wir haben gesehen, daß es in allen geologischen Formationen Sapropelgesteine in Massen gibt. Die Tatsache, daß es so oft Meeres- oder Brackwassertiere sind, die in den Sapropeliten (Cannel-, Bogheadkohlen, bituminösen Schiefern, bituminösen Kalken usw.) vorkommen oder sie begleiten, weist darauf hin, daß die meisten derselben nur in dem Bereich der Meeresküste und zwar an ruhigen Stellen entstanden sein können.

Auf Grund des erwähnten ENGLERschen Experimentes wird man zunächst die C-haltigen Produkte der bituminösen Gesteine auf Tierreste zurückzuführen geneigt sein. Es ist wiederholt ausgesprochen worden, daß auch das Pflanzenreich im Großen Urmaterial zur Petroleumbildung hergegeben habe, was KRÄMER und SPILKER auch 1899 nachgewiesen zu haben glaubten. Ich habe jedoch 1904 gezeigt, daß das Sapropel des Ahlbecker Seegrundes bei Ludwigshof in Pommern, das diesen „Beweis" geliefert hat, fälschlich für Diatomeenerde, also für ein wesentlich pflanzliches Gestein angesehen worden ist, während es sich in Wirklichkeit um ein zoogen-phytogenes Sapropel handelt, bei welchem die tierischen Bestandteile anscheinend sogar überwiegen (Fig. 7—9). Ein Material, das so zusammengesetzt ist, wie dieses, kann natürlich nicht zugrunde gelegt werden, wenn man die pflanzliche Herkunft des natürlichen Petroleums nachweisen will. Auch die sonst in der Literatur vorgebrachten Gründe hierfür genügen nicht.

Der Nachweis, daß nicht allein die tierischen Bestandteile, sondern daß auch die in den Sapropelen vorkommenden echten Wasserpflanzen als Ausgangsbestandteile der Petroleumbildung wesentlich mit in Frage kommen, war also in Wirklichkeit noch zu führen, und ich habe mich daher im Laufe des Sommers 1904 bemüht, geeignetes Material zu beschaffen, das diesen Nachweis ermöglichte. Es mußte mir daran liegen, für diesen Zweck Planktonproben zu erhalten. Da liegt es für den Biontologen nahe, als geeignete Quelle an die allsommerlich auftretende Algen-Wasserblüte zu denken, die verhältnismäßig reines Material liefert, die schon C. EG. BERTRAND früher zum Vergleich der Algenanhäufungen in der Bogheadkohle herangezogen hatte. In der Havel spielt *Macrocystis (Polycystis) flos aquae* alljährlich als Wasserblüte eine hervorragende Rolle. Die Kolonien dieser Alge färben das Wasser, das sie in erstaunlichen Mengen bewohnen, bei uns namentlich an warmen Augusttagen intensiv grün. Dieses reichlich vorhandene Material habe ich gesammelt und Herrn Prof. C. ENGLER mit der Bitte gesandt, daraus durch Destillation bei erhöhter Temperatur Petroleum herzustellen (vergl. ENGLER

Digitized by Google

in POTONIÉ 1905 p. 348). Seine Untersuchung ergab, daß in der trockenen Masse der genannten Alge rund 22 % (!) Fett vorhanden waren, das bei Druckdestillation Petroleumöle ergab. Er schreibt:

„Eine kleine Menge des „Fettes" im Glasröhrchen der Druckdestillation unterworfen, ergibt deutlich Petroleumöle. Paraffin wurde zwar bei der kleinen Probe nicht wahrgenommen. Seine Gegenwart ist aber sehr wahrscheinlich. Das Hauptprodukt sind „Erdöle". Die gleiche Wasserblüte (bei 110° getrocknet) ergibt bei der trocknen Destillation reichlich ein teeriges Destillat und Wasser. Es ergibt die trockne Masse von *Macrocystis:*

22 % Fett,
60 „ andere flüchtige Stoffe (Gase, Teer, Wasser usw.),
18 „ Koksrückstand,
100 %."

Ein rezenter Faulschlamm, gemischt pflanzlicher und tierischer Herkunft, den ich ebenfalls einsandte, ergab

1. bei der gewöhnlichen trocknen Destillation:
24,4 % Öl von teeriger Konsistenz und paraffinhaltig,
13,8 „ Wasser von stark alkalischer Reaktion,
47,2 „ Rückstand (davon 20,8 % Asche, Rest Koks),
14,6 „ Verlust (brennbare Gase),
100,0 %.

2. Bei der Druckdestillaten resultieren dünnere petroleumartige Öle neben gut kristallinischem Paraffin und Wasser.

3. Das Produkt der gewöhnlichen trocknen Destillation mit nachfolgender Druckdestillation wird in typische Petroleumöle und Paraffin leicht umgewandelt. Dabei tritt neuerdings Wasser auf, ein Beweis dafür, daß das Produkt der gewöhnlichen trocknen Destillation noch sehr sauerstoffreich ist."

Man beachte, daß die Probe 20,8 % (!) Asche enthielt, so daß die kaustobiolithischen Materialien allein berechnet weit über 24,4 % Öl ergeben.

Von der untermiocänen „Seekreide", das ist in diesem Falle Sapropelkalk, von Roth bei Fladungen (Rhön) z. B. hat C. A. WIETNER (1893) 125 kg der Destillation unterworfen und dabei 1,395 kg Öl erhalten, aus dem Paraffin gewonnen werden konnte, das „dieselbe Struktur, wie die aus Bogheadkohlen, Schieferkohlen und Petroleum dargestellten Paraffine" zeigt.

Auch die reichlich in den Sapropel-Materialien vorhandenen Proteïne kommen in Betracht, denn bei ihrer Zersetzung können Fettsäuren entstehen, die z. T. optisch aktiv sind wie die meisten Petrolea (vergl. hierüber besonders C. NEUBERG 1905, 1906 und 1907), im Gegensatz zu denjenigen Fetten und Fettsäuren, die mit verschwindenden

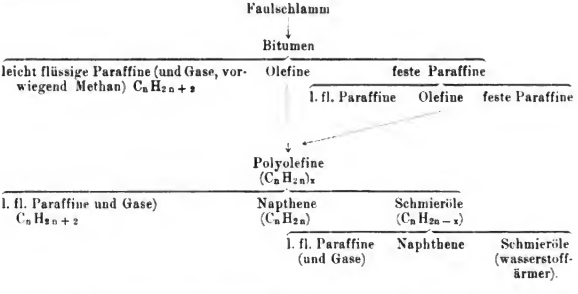
Digitized by Google

Ausnahmen optisch inaktiv sind und daher auch nur ein eben solches Petroleum liefern können.

Auf die Frage, ob die beiden Hauptgruppen der Petrolea (die Naphthen- und die Paraffin-Kohlenwasserstoffe [das pennsylvanische Petrol ist ein paraffinisches Öl, das kaukasische enthält kein Paraffin]), vielleicht aus verschiedenen Rohstoffen, aus denen sie entstanden, sich erklären ließen, antwortet ENGLER das Folgende:

„Eingehende Studien hierüber, die ich anstellte, scheinen diese Möglichkeit auszuschließen, denn jedes fette Öl oder Fett, wozu ich auch die wachsartigen Stoffe rechne, läßt die Produkte je nach seiner Verarbeitung variieren, d. h. Pflanzen- oder Tierfette geben unter gleichen Versuchsbedingungen dieselben Petrolöle. Schon a priori ist anzunehmen, daß bei der Gleichartigkeit der Pflanzen- und Tierfette beim Übergang derselben keine so großen Differenzierungen auftreten können, wie sie zwischen Naphthenen und Paraffinölen vorhanden sind. — Das kann nur durch die natürlichen Umwandlungsprozesse selbst bedingt sein (verschiedene Temperatur und Druckverhältnisse!)"

Für den Chemiker sei im folgenden das Schema C. ENGLERS wiedergegeben, wie nach seinen Untersuchungen der Abbau organischer Rohstoffe erfolgt.



Durch die im Verlauf der Zeit fortschreitende Bituminierung werden Sapropelite erreicht, die schon durch direkte Destillation ohne weiteres Petrolea ergeben. Darauf gründet sich ja die namentlich vor Kenntnis der heutigen reichen Petroleumquellen vollzogene Gewinnung von Ölen aus mesozoischen und palaeozoischen Sapropeliten, die daher auch gelegentlich den Namen Ölschiefer (z. B. Ölschiefer des Schwarzen Jura) u. dergl. führen. Es sei bei dieser Gelegenheit an das aus triasischen bituminösen, Fischreste führenden Mergelschiefern („Asphaltschiefern") namentlich des rätischen Hauptdolomits bei Seefeld in Tirol und bei Wallgau

Digitized by Google

an der Isar zur medizinischen Verwendung gewonnene „Ichthyol“ (das sogen. Fischöl) erinnert. Inwieweit daher bei der Bildung des natürlichen Petrols der Druck an sich mitwirkt oder nur als temperaturerhöhendes Mittel in Betracht kommt, muß hier dahingestellt bleiben.

Wir können nach dem Vorausgehenden also sagen: Das Petroleum der freien Natur ist ein Destillationsprodukt aus Sapropelgesteinen. Genügende Hitze, meist gesteigert durch den Druck der sich entwickelnden Gase, ist in den größeren Erdtiefen vorhanden, wohin die Sapropelgesteine durch die gebirgsbildende Tätigkeit der Erde gelangen. Deshalb ist es erklärlich, daß z. B. das so reichlich bei künstlicher Destillation Petroleum liefernde, unter dem Namen Kerosinschiefer bekannte Faulkohlengestein Australiens (namentlich von Neu-Süd-Wales) doch in der freien Natur keine Petroleumquellen geschaffen hat, denn die Kerosinschiefer liegen in ungenügender Tiefe und helfen überdies ein durchweg horizontal geschichtetes Tafelland bilden, das nicht durch Gebirgsbildung besonderen Pressungen ausgesetzt war und auch nur ganz untergeordnet eruptive Gesteine aufweist (s. Anm. S. 95).

Für die Begründung der Herkunft des Petrols aus dem Sapropel und seine Entstehung hieraus durch Druckdestillation ist vielleicht auch das Vorkommen von Petrol in Konkretionen auszunutzen, die in mehr oder minder bitumenreichen Sapropeliten zu finden sind. Als Attraktionspunkt bei ihrer Entstehung kann z. B. ein proteïn- resp. fettreiches Tier gedient haben. Nach dem Aufschlagen solcher Knollen, wie sie u. a. aus dem Silur Böhmens, aus dem Posidonienschiefer (Lias ε) bekannt sind, findet man nun in ihnen gar nicht selten Petroleum. J. Jahn (1892 p. 369) weist darauf hin, daß sich für derartige Vorkommen im böhmischen Obersilur-Kalk vermutlich durch eine Diabaseruption ausgeübte Wärmeentwicklung verantwortlich machen läßt. Der Petroleumgehalt mancher Sapropelite, z. B. gewisser Schiefer von St. Etienne erklärt sich vielleicht ebenfalls aus der Beeinflussung durch vulkanische Gesteine. Aus dem Carbon des Ruhrreviers sind Toneisensteinknollen mit Petrol bekannt (Kukuk 1909); hier aber läßt sich eine Hitzewirkung nicht begründen, ebensowenig bei den oben genannten Konkretionen aus dem Lias ε (Jetrock) von Yorkshire. Eine kritische Zusammenstellung solcher Fälle mit Rücksicht auf unsere Frage wäre wertvoll. Es ist aber dabei zu beachten, wenn auch die große Masse des Petrols auf dem angegebenen Wege entstanden sein wird, so muß man doch auch berücksichtigen, daß nach unseren heutigen begründeten theoretisch-chemischen Annahmen stabilere Verbindungen überhaupt und somit auch Petrolea durch langsame Destillation (d. h. ohne Einwirkung von größerer Hitze) in langen Zeiträumen entstehen können, indem die Zeit so zu sagen die schnelle Destillation (d. h. die Hitzewirkung) ersetzt. Hierbei scheint überdies die Gegenwart gewisser mineralischer Bestandteile fördernd zu

Digitized by Google

wirken. Die Mitwirkung anorganisch-mineralischer Verbindungen ist schon wiederholt angenommen worden. Das ist auch der Grundgedanke von H. MONKE und F. BEYSCHLAG (1905), wenn sie sich durch die Tatsache des meist in der Nähe von Petrol oder mit ihm zusammen vorkommenden Salzes zu der Annahme verleiten lassen, daß das Salz wohl irgend eine vom Chemiker näher zu untersuchende Rolle bei der Entstehung des Petrols spielen müßte. Ich selbst denke allerdings bis auf weiteres weniger an das Chlornatrium und seine Begleitsalze als vielmehr zunächst u. a. an Calcium- und Eisenverbindungen, weil diese Annahme sich vielleicht schon jetzt durch Tatsachen stützen läßt. Es geht nämlich die Bituminierung des Sapropels in den Sapropeliten schneller vor sich, wenn die nicht brennbaren mineralischen Bestandteile chemisch relativ leicht beweglich sind, d. h. die Anreicherung von Wasserstoff in solchen Gesteinen (die Hinneigung des kaustobiolithischen Materiales zu Petroleum bezw. Asphalt und ähnlichen Stoffen) ist um so größer und geht um so schneller von statten, je mehr ihnen solche nicht brennbaren Mineralteile beigemengt sind. Es ist also zu berücksichtigen, daß labile, brennbare, organische Verbindungen um so eifriger stabilen Zuständen entgegengehen, d. h. sich zersetzen, wenn sie mit gewissen, nicht brennbaren anorganischen Verbindungen vermengt sind. Anorganisch mineralische Verbindungen, wie etwa Quarz, die chemisch schwer beweglich sind und mit den sich zersetzenden organischen Massen keine chemischen Umsetzungen eingehen, kommen dabei nicht in Betracht, aber Verbindungen, wie z. B. die üblichen Kalk- und Eisenverbindungen spielen hier eine bemerkenswerte Rolle. Es ist ja bekannt, daß sich Humus schneller zersetzt, wenn Kalk beigemengt ist, und die Tatsache, daß die Sapropelite mit größerem Kalk-, Eisen- u. dergl. Gehalt wasserstoffreicher sind, als gleichalterige Sapropelite, denen diese Beimengungen fehlen, weist darauf hin, daß auch beim Sapropel, wenn es mit den genannten Verbindungen gemengt ist, die Erreichung stabilerer Verbindungen beschleunigt wird. Unter Luftabschluß entstehen daher diese stabileren Verbindungen, die man Bitumina (Petroleum, Asphalt u. dergl.) nennt, und in der Tat sind hierfür mancherlei Belege vorhanden. Zunächst ist darauf hinzuweisen, daß kalkige Sapropelite schon beim bloßen Anschlagen, selbst wenn sie nur tertiäres Alter haben, stark bituminös riechen (Stinkkalke!) und bei der Destillation besonders leicht ohne weiteres Petroleum ergeben. Schon durch bloses Übergießen mit HCl entwickelt sich Petroleumgeruch und nach Lösung des Kalkes kann man auch Öltropfen aus solchen Sapropeliten erhalten, deren nachträgliche Infiltration mit Petroleum nicht gut angenommen werden kann. Die Behandlung mit HCl ist zur Konstatierung von Bitumen besonders empfindlich und bei ihrer Bequemlichkeit sehr zu empfehlen. Die besonders starke Bituminierung, wie sie

Digitized by Google

für ältere Kalksapropelite (z. B. die mittelcambrischen Andrârum-Kalke in Schweden) charakteristisch ist, macht sich auch in der Häufigkeit von Asphaltkalken geltend (vergl. Fig. 31). An dieser Einwirkung des Kalkes wird es liegen, daß in stark kalkigen Sapropeliten figurierte Bestandteile meist kaum erhalten sind, abgesehen von größeren Resten wie größeren *Foraminiferen (Fusulinen, Nummuliten* usw.), sonstigen Kalkschalen, *Lithothamnium*-Skeletten u. dergl. Dann ist zu beachten, daß Sapropelitablagerungen, die einen Wechsel von Schichten aufweisen, von denen die einen kaustobiolithreicher und die anderen kaustobiolithärmer sind, es die letzteren sind (diejenigen also, die mehr anorganisches Mineral besitzen), die relativ mehr Petroleum bei der Destillation liefern, als die kaustobiolithreichen Lagen. Das trifft z. B. zu für den Kerosinschiefer Australiens, für die permischen Bogheadablagerungen von Autun usw. Ferd. Hornung (1905), H. Künkler und H. Schwedenhelm (1908) machen auf das wahrscheinliche Vorkommen von natürlichen fettsauren Erdalkalien aufmerksam, die durch weitere Umsetzung dann leicht zu Petrol und verwandten Bildungen (Asphalt) werden können. Die beiden letztgenannten Autoren sagen: „Das Kalkkarbonat reagiert schon bei normalen Druck- und Temperaturverhältnissen, besonders bei Anwesenheit von Wasser, unter CO_2-Entwicklung auf flüssige Fettstoffe und zwar energisch auf Fettsäuren, langsam auf Glyzeride unter Emulsionsbildung. Es bilden sich die Kalksalze". In einer Anmerkung hierzu wird hinzugefügt: „ebenso verseifen doppeltkohlensaure Alkalien, sämtliche kohlensaure Erdalkalien und Aluminiumhydroxyd". Es gibt übrigens auch Eisenseife usw.

Hornung sagt (p. 549): „Es entstanden Kalksalze der Fettsäuren, und diese wiederum zerfielen mit Wasser in Kohlenwasserstoffe, Wasserstoff und kohlensauren Kalk." Inwieweit die von K. Natterer beobachteten Spuren von Petroleum im Tiefseeschlamm des östlichen Mittelmeers hierher gehören, wäre noch näher zu untersuchen. Es könnte sich hier auch um Petrolerguß ins Meer handeln. Gewisse Sapropelite, wie reine Sapanthrakone usw., haben aber natürlich nicht ein Stadium fettsaurer Erdalkalien durchgemacht; denn sie enthalten heute noch in Massen die figurierten Bestandteile, die den Urmaterialien unter den Lebewesen angehören, die diese Sapropelite erzeugten. Es fehlte in ihnen ja auch das nötige Quantum an anorganisch-mineralischen Verbindungen.

Das alles führt zu der Ansicht, daß sich Petrolea auch durch weitere Selbstzersetzung (Bituminierung) von geeigneten Sapropeliten ohne weiteres bilden können; aber flüssig, in Massen kommen sie wohl nur nach einer Destillation vor, sei es, daß das wie angegeben entstandene Petrol dadurch bewegt wird, sei es, daß es — aus Sapanthrakonen und überhaupt aus noch nicht bis zur Petrolbildung gelangten

Digitized by Google

Sapropeliten — dabei erst destruktiv gleichzeitig mit brennbaren Gasen entsteht, die in dieser Zusammensetzung und Mischung wohl nur bei einer Hitzewirkung resultieren.

Als Rückstand bei der Destillation bleibt dann C übrig, der die ursprünglichen Sapropelite schwarz färbt, oder es bleibt auch, wenn es nicht bis zu einer vollständigen Zersetzung gekommen ist, ein mehr dem Anthrazit sich nähernder Rückstand.

Daß das Destillationsprodukt sich im allgemeinen nicht dort finden wird, wo die Destillation erfolgte, ist selbstverständlich. Das Petroleum wandert nach den Stellen des geringsten Widerstandes. Das sind vor allem, wie STERRY HUNT (1859) und dann H. HÖFER (1876) begründeten, die Kämme der Antiklinalen. M. LOHEST (1905) hat hierzu ein hübsches Experiment gemacht. Er hat (vergl. Fig. 32A) plastisches Gestein übereinandergeschichtet und in seiner Mitte zwei dünne Fettlagen g eingeschaltet. Das Ganze kam in ein Behältnis mit beweglichen Wänden und wurde mit Sand bedeckt. Nähert man nun die zwei gegenüberliegenden Wände durch Pressung so weit, daß aus dem Inhalt des Behälters ein Sattel wird, so sieht man, nachdem der Sattel quer durchschnitten worden ist (C und B), wie das Fett g nunmehr vornehmlich die Gipfellinie des Sattels einnimmt, wohin es also gewandert ist. Wo sich eine Spalte bildet, ist ebenfalls Fett vorhanden. A und B in unserer Figur gehören zusammen, C ist das Resultat eines Experiments, dem ich selbst beigewohnt habe.

Die Sapropelite, aus denen das Petroleum hervorging, müssen also oft an anderen Orten gesucht werden als dort, wo sich das Petroleum vorfindet.

Das regelmäßige, auf Hunderte von Quadratkilometern sich erstreckende Petroleumvorkommen Ohios und Indianas im dortigen silurischen Trentonkalk ist aber wohl eine Lagerstätte, wo sich das Petroleum noch am Orte seiner Entstehung vorfindet. Der sehr fossilreiche, zerklüftete Trentonkalk selbst ist jetzt sehr arm an Bitumen, aber dafür dunkel, also wohl bereits abdestilliert. Auch der in der Literatur als Anthrakonit geführte, durch Kohle schwarz gefärbte Kalkstein mag ein ausdestilliertes ehemaliges Sapropelgestein sein, ebenso wie überhaupt die durch fein verteilten Graphit dunkel gefärbten Kalksteine, alten Tonschiefer usw. Auch ERNST WEINSCHENK, der sich eingehend mit dem Graphit beschäftigt hat, sagt (z. B. 1907 p. 77): „Der Graphit ist selten in Eruptivgesteinen als primärer Bestandteil und dann meist in Form dichter Knollen vorhanden. Seine wahre Heimat sind die umgewandelten Kalke und Schiefer, in welchen er zum Teil durch kontaktmetamorphische Umbildung aus organischer Substanz entstand, zum Teil eine Art von Fumarolenbildung darstellt, wobei gleichzeitig die Gesteine weithin zersetzt wurden." Bei der Destillation durch kohligen Rückstand schwarz

Digitized by Google

gewordene Sapropelite, schwarze Tonschiefer usw. sind dann natürlich nicht mehr bituminös, und es ist schwer und vielleicht unmöglich, ihnen anzusehen, ob sie in der angegebenen Weise entstanden sind, oder ob der Kohlenstoff resp. die restierende Kohle auf Humusbildungen zurückzuführen ist. Manche Graphite mögen wohl die letzten Reste, die nach der Destillation von fossilem Sapropel verkohlten Rückstände sein, so z. B. die Vorkommen im Praecambrium. Freilich vermögen aber alle Kaustobiolithe dabei verkohlte kokige bis graphitische Reste zu geben. Wo Graphit sich auf sekundärer Lagerstätte in Spalten u. dergl. vorfindet, müßte ein abgeleiteter Kaustobiolith dorthin geraten und erst dort verkohlt sein.

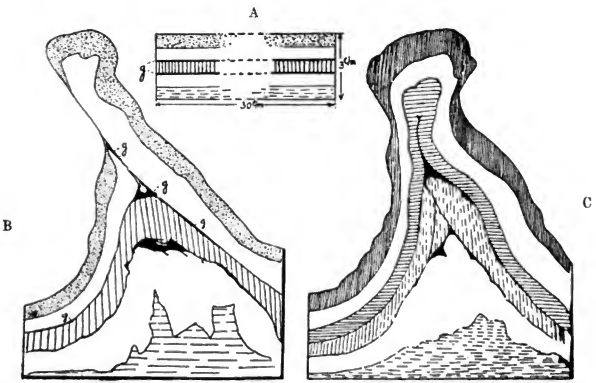


Fig. 32. Erklärung im Text. (Nach Lohest.)

Durch Filtration in Gesteinen und Trennung nach dem spezifischen Gewicht scheiden sich die Petrolea — da sie Gemische sind — in leichte (dünne) und schwere (dicke) Öle. David Day experimentierte zur Veranschaulichung des Gesagten mit Walk-(Fuller-)erde (einem aus Basalt hervorgegangenen Ton) in einem Glaszylinder. Er goß oben Rohöl darauf, das sich beim Eindringen schied in leichtes, schwefelloses Öl, das sich wegen seiner leichten Beweglichkeit nach unten ansammelte, und in schweres, schwefelhaltiges, das oben blieb. Auch Paraffin enthaltende Öle und solche, die frei davon sind, können sich in der angegebenen Weise scheiden. Die obere Ölzone bei 125—240 m von Wietze im Hannöverschen enthält schwere Öle ohne Paraffin, die untere Zone bei 245—312 m leichte Öle mit Paraffinen.

Digitized by Google

Im Verlaufe der geologischen Zeiten sind weitere chemische Veränderungen mit dem Destillat vor sich gegangen, je nach den Bedingungen, unter die es geriet.

Es ist selbstverständlich, daß je nach der Verschiedenheit in der chemischen Zusammensetzung der organischen Urmaterialien, und auch je nachdem sie als reine Sapropelite oder Kalksapropelite usw. vorlagen, schon das ursprüngliche Destillationsprodukt nicht überall in spezieller, sondern nur in genereller Hinsicht übereingestimmt hat, und dieses muß ferner nach Maßgabe der Unterschiedlichkeit von Druck und Temperatur, die eingewirkt haben, verschieden ausgefallen sein. Das alles erklärt hinreichend die Variationen in der Zusammensetzung der Petrolea verschiedener Herkunft.

Als Elementaranalysen-Beispiel mag das folgende dienen:

	Ohio-Petrol	Pennsylvanien-Petrol
C	85,00 %	86,10 %
H	13,80 „	13,90 „
S	0,60 „	0,06 „
O, N	0,60 „	
	100,00 %	100,06 %

Bei der natürlichen Destillation entwickeln sich auch brennbare Gase, die von den Lagerstätten der Petrolea her allbekannt und brennend den Feueranbetern heilig sind. Gelegentlich treten in Sapropeliten — wie z. B. im Flysch — schlagende Wetter auf; auch die Schlagwetter, die teilweise in den Bergbauen in der Wealdenkohle von Obernkirchen (Hann.) auftreten, sollen wesentlich aus dem bituminösen Liegenden (S. 54) kommen. Die Gase der Sapropelite (rezenter und fossiler) haben viel mehr Kalorien als die der Humusgesteine (rezenter und fossiler, also von Torf und Steinkohle z. B.). Sie enthalten im Durchschnitt z. B.:

1,64— 2,35 % H
92,67—93,85 „ CH_4
0,20— 0,35 „ C_2H_4
0,41— 0,53 „ CO
0,20— 0,25 „ CO_2
2,98— 3,82 „ N
0,15— 0,21 „ H_2S

Das Erdwachs (Bergwachs), der Ozokerit, der u. a. im Petroleumrevier bei Boryslaw in Galizien namentlich in Spalten reichlich vorkommt, ist der Rückstand von Petroleum, dessen leichter sich verflüchtigende Bestandteile mit der Zeit vergasen, wenn das Petrolenm für die Atmosphärilien zugänglich ist. Die Paraffine bleiben dann als Verdunstungsrest des flüssigen Petroleums zurück. Wenn man Paraffinpetrol längere Zeit einem starken Luftstrom aussetzt, so erhält man Paraffin als Rückstand.

Digitized by Google

Ähnlich dem Ozokerit sind der Kir (eine Verdickung der dunkelbraunen Naphtha der Halbinsel Apscheron an der Luft), der Baikerit vom Baikalsee, der Elaterit von Derbyshire, der Hatchettin (von dem Wettiner Carbon-Revier), alles Produkte, die sich aus gewissen Petrolen ausscheiden können oder durch Verlust der flüchtigen Bestandteile mit nachfolgender Oxydation der Rückstände bilden usw. — Ein Zwischenprodukt von Petrol und Ozokerit ist der Kindibal. Bei den Naphthen-Petrolen gibt es einen Rückstand von Asphalt (Erdpech, Erdteer, auch Bergpech, Bergteer, bitumen judaicum). Dementsprechend findet sich fast überall, wo Petrol auftritt, auch Asphalt rein oder in den Gesteinen.

Es kommt bei der Entstehung der genannten schmierigen oder wachsartigen bis festeren abgeleiteten Sapropelite auch eine Oxydation und Polymerisation hinzu, die, je nachdem sie mehr oder minder weitgehen, die Eigenarten bedingen. Der in Verbindung mit Petrol, das stellenweise herausquillt, auftretende Asphalt des Toten Meeres (Judenpech) hat nach JACUNSKI folgende Zusammensetzung: 77,18 % C, 9,07 H, 9,40 S, 2,10 N und 0,50 Asche.

Ob der Albertit (in Adern eines palaeozoischen Sapropelits der Albert-Country, Neu-Braunschweig, vorkommend), der Grahamit und ähnliche Kaustobiolithe auch in diese Gruppe abgeleiteter Sapropelite gehören, wäre noch näher zu untersuchen. Der Albertit sieht aus wie sehr glanzkohliger Asphalt. Er ist sehr brüchig und gibt ungemein viel Gas, wobei er nach dem Verbrennen eine schaumige Kohle hinterläßt. Jedenfalls gibt es in der Reihe abgeleiteter Sapropelite alle denkbaren Übergänge vom leichtflüssigen Öl bis zum festen, äußerlich steinkohlenähnlichen Kaustobiolith.

Das so häufige Zusammenauftreten von Petroleum mit Steinsalz und den begleitenden Salzen (vergl. auch das p. 88 Gesagte) — es gibt auch Salze, die Kohlenwasserstoffe einschließen (Knistersalz), das Petroleum in Pennsylvanien aber z. B. kommt nicht in Verbindung mit Salz vor — mag sich aus der Eigenart der Stellen auf der Erde erklären, wo die Muttergesteine der Petrolea, die Sapropelgesteine, hauptsächlich und in größeren Massen gebildet werden. Das sind die Flachküsten der Meere und abflußlose Gebiete (man denke an die Verhältnisse nördlich vom Kaspischen Meer), die dem Wasser so weit Zutritt gestatten, daß mehr oder weniger ständige Wasserstellen entstehen. Sind diese abgeschlossen oder nur gelegentlich Überschwemmungen ausgesetzt, so daß mehr oder weniger ausgedehnte, stagnierende Wasserflächen entstehen, so ist die Sapropelbildung begünstigt, ebenso aber auch die Bildung von natürlichen Salzgärten. In solchem Falle werden an derselben Örtlichkeit sowohl petroleumliefernde Gesteine als auch Salzlager erzeugt.

Digitized by Google

Es gibt Organismen, die einen sehr hohen Salzgehalt unbeschadet ihrer Lebensfähigkeit vertragen. Gewisse *Kieselalgen* und *Chlamydomonaden* gedeihen noch in Lösungen, die 17,8 % Kochsalz enthalten. *Aspergillus* und *Penicillium* wachsen noch in Lösungen mit 17—18 % Salz. Nach FERD. LUDWIG, der sich (1903 p. 140) über einige Mineralseen ostsibirischer Steppen geäußert hat, wimmelt der Beisksche See von kleinen *Crustaceen*. Dieser enthält über 10 % Salz in Lösung. Der See Schuneth trägt auf seinem Boden ausgeschiedenes Salz, der Rand ist schlammig. Sein Wasser enthält über 15 % Salz in Lösung. In dem feuchten Schlamm befindet sich über die Hälfte „Wasser, organische und flüchtige Substanz". Der Bittersee hat einen Salzrand, der auf einer 1 cm, lufttrocken $^1/_2$ cm dicken „Algenschicht" ruht, die sich auch in den See hineinzieht. „Unter ihr liegt fast schwarzer Mineralschlamm", der in der Mitte des Sees durch eine Salzschicht vom Wasser getrennt ist. Das Wasser enthält ca. 6 % Salz in Lösung.

A. F. STAHL, der in demselben Jahre (1899) wie KRAEMER und SPILKER und zeitlich vor ihnen die *Kieselalgen (Diatomaceen)* für die ursprünglich Petroleum liefernden Organismen erklärte, hat an der Nordküste des Kaspischen Meeres Beobachtungen gemacht, die in unserem Zusammenhange ebenfalls wichtig sind. Er schildert die Petroleum (spezieller Naphtha) führenden Tertiärschichten im Kaukasus und Transkaspien als mehr oder weniger von Salz imprägnierte, kalkige, sandige (des öfteren gewellte) Mergel, wechsellagernd mit dünnblättrigen, schwarzen, bituminösen Schiefertonen, mit Einlagerungen von Sphärosideriten, fetten Tonen und Sandsteinen. „Dieser, stellenweise bis 3000 m mächtige, aus nur wenig mächtigen einzelnen Flötzen bestehende Schichtenkomplex weist überall auf ein flaches Ufergebiet und seichtes Meer hin. Auch scheint das ganze Gebiet von säkularen Hebungen und Senkungen bald trocken gelegt, bald vom Meere überschwemmt worden zu sein. Diese Hebung und Senkung erfolgte nie plötzlich, sondern ganz allmählich in langen Zeitperioden. Bei dem Zurücktreten des Meeres blieben, wie heute noch in den Kalmücken- und Kirgisensteppen am Kaspischen Meer eine große Anzahl von größeren und kleineren Seen vom Meere abgeschnitten". Ursprünglich meinte der genannte Autor, daß in diesen Seen die Diatomaceen die Hauptrolle spielen, die „die sogenannten schwarzen Salzschlämme bildeten". Diese Angabe ist aber wie bei KRAEMER und SPILKER aufzufassen und an Stelle von „Diatomeen" ist ganz allgemein an das pflanzliche und tierische Leben in den Salzwasserstellen zu denken. Ablagerungen dieser Art „haben wir in den Naphthaschichten als bituminöse, feinblätterige, schwarze Schiefertone, die oft auch noch die in ihnen gebildete Naphtha enthalten, wogegen die Naphtha, die wir heute über oder unter den Schiefertonen im Sande erbohren, eigentlich schon als auf sekundärer Lagerstätte befindlich erscheint. Diese Sande

Digitized by Google

unterscheiden sich durch nichts von den Dünensanden der jetzigen Steppen".

Nach STAHLs Darstellung (1901 und 1903) bildet „das ganze an 300 km sich in das Land erstreckende Ufergebiet im NW., N. und NO. des Kaspischen Meeres eine Ebene von unzähligen Salzseen und Dünenhügeln". Unter anderen zeigte der Inder-Salzsee Ablagerungen schwarzer Salzschlamme, Sand und reinerer Salzschichten in Wechsellagerung. Östlich vom Bartaldaktu-See befinden sich mehrere kleine Salzseen „mit sedimentärem Salz von manchmal rosaroter Farbe, die von im Salz in großen Massen eingeschlossenen Keimen der Crustacee *Artemia salina* verursacht wird. „Sobald im Frühjahr Regen- und Schneewasser das Salz lösen, entwickeln sich diese Keime zu makroskopisch sichtbaren, runden Körnern, woraus dann die kleinen Crustaceen schlüpfen, die dann zum Herbst absterbend, mit anderen Salzmikroorganismen, wie *Lacrymaria caspia* etc., die ich im trockenen Meeresschlamm bei Schilaja-Kosa fand, die schwarzen Salzschlamme bilden". Das massenhafte Vorkommen von *Artemia salina* und anderen Organismen hat dann STAHL darauf geführt, nicht die Diatomaceen allein verantwortlich zu machen.

Anm. zu S. 87. Hier sei noch eine Beobachtung von A. F. STAHL mitgeteilt, die er mir (GOTHAN) bei seinem Aufenthalt in Berlin 1919 freundlichst zur Verfügung stellte: „Als ich im Jahre 1904 in Persien auf der Reise von Teheran nach Isfahan einen kleinen Salzsumpf passierte, fand ich am Wege ein kleines Gerinnsel von salzigem Wasser, das stark von makroskopisch sichtbaren Kleinlebewesen bevölkert war. Am Boden des Gerinnsels befand sich eine dünne Schicht hellbraunen Lößtons, darunter jedoch pechschwarzer nach H_2S riechender Faulschlamm. Ich nahm etwas von diesem Schlamme in einem gut verkorktem Fläschchen mit. Nach sechsmonatlicher Reise in Persien, wobei die Temperatur sehr hoch war und die Sonne mein Gepäck gründlich durchwärmte, kam ich nach Rußland, und als ich hier das Fläschchen mit dem Faulschlamm öffnete, konnte ich konstatieren, daß sich der H_2S-Geruch in einen ausgeprägten Erdöl-Geruch verwandelt hatte und der Faulschlamm selbst stark von feinzerteiltem Schwefeleisen durchsetzt war. Ölspuren konnte ich nicht entdecken, auch war die Quantität des Schlammes wohl zu gering für die Bildung von Öl; Ölgase aber waren jedenfalls vorhanden. Leider fand sich später keine Gelegenheit, das Experiment zu wiederholen." STAHL schließt hieraus, daß wesentlich Temperaturerhöhung, nicht aber starker Druck auf die Bildung von Erdöl aus den Urmaterialien von Bedeutung sei. Sei dem, wie ihm wolle, die Beobachtung ist jedenfalls interessant genug, um aufbewahrt zu werden.

Digitized by Google

Humus-Kohlen

Es ist wiederholt die Frage aufgeworfen, bejaht und von anderen Seiten wieder verneint worden, ob die Reihenfolge 1. Lebendes Material, 2. Streu, 3. Torf, 4. Braunkohle, 5. Schwarz-(Stein-)kohle, 6. Anthrazit (Kohlenblende) den natürlichen Entwicklungsstadien des Humuskaustobioliths entspreche, d. h. ob aus Torf Braunkohle, aus dieser Schwarzkohle (Steinkohle), und aus dieser Anthrazit im Verlaufe der Zeiten und bei der weiteren Umbildung des Gesteins werde.

Nach Maßgabe der Selbstzersetzung entstehen wesentlich H_2O und CO_2 und zwar H_2O so lange, als noch H und O, und CO_2 (auch CO), so lange noch O neben C vorhanden ist. Da der O-Gehalt immer mehr und mehr abnimmt, wird daher auch der H_2O-Gehalt der bergfeuchten Kaustobiolithe immer geringer und ebenso die Abscheidung von CO_2. Daher enthält Braunkohle bergfeucht meist rund 30, auch noch 50 und mehr Prozent H_2O, Humus-Schwarzkohle des Produktiven Carbons hingegen rund 2 (auch weniger und etwas mehr) Prozent, Anthrazit $^1/_2$% usw. Dementsprechend überwiegt in den Gasexhalationen der Braunkohle CO_2 („Schwaden" der Bergleute, „matte Wetter"). Dieses nimmt bei den weiter zersetzten Kohlen immer mehr ab und bei der Humus-Steinkohle überwiegt dann CH_4, während die CO_2-Produktion stark zurücktritt („schlagende Wetter"). Außer den angegebenen Gasen wird auch etwas N abgegeben (Beispiele siehe bei MUCK 1891). Der Kaustobiolith wird demnach immer sauerstoffärmer und reicher an Kohlenstoffen. Danach ist gegen die angegebene Reihenfolge, die in chemischer Hinsicht der genannten Tatsache durchaus gerecht wird, nichts einzuwenden. Sie wird durch alle übrigen Tatsachen unterstützt, die schlagend klarlegen, daß die Braun- und Steinkohlenlager Moore wie die heutigen Torflagerstätten gewesen sind.

Da das Verbrennen eine Oxydation ist, so bedeutet ein größeres Vorhandensein von Sauerstoff in den Torfen, Kohlen usw. auch eine geringere Wertigkeit als Brennmaterial, da der bereits in diesen Stoffen vorhandene Sauerstoff nicht mehr durch Verbrennung zugeführt werden kann, demnach ein Teil des Materiales als Brennstoff nicht in Betracht kommt. Aus einem solchen Unterschied wird niemand, der mit den Elementen der Chemie vertraut ist, einen prinzipiellen Unterschied zwischen Torf usw. bis zum Anthrazit herleiten. Wenn daher die angegebene Reihe in der Tat so zusammengehört, daß durch den fortschreitenden Selbstzersetzungsprozeß, der sich in der Natur vollzieht,

Digitized by Google

eine ständige Anreicherung von Kohlenstoff in den Substanzen stattfindet, so liegt der Gedanke an ein mögliches Gelingen des Versuches nahe, Kohlen etwa durch Anwendung von Hitze und Druck unter möglichstem Abschluß der Atmosphärilien künstlich herzustellen, damit die entstehenden Destillationsprodukte zum Teil zurückgehalten werden und eine unvollständige Verbrennung eintreten kann. Das wäre ein beschleunigtes Verfahren für die Umbildung von Pflanzensubstanz in der Richtung der natürlichen Kohlen.

ALEXANDER PETZOLD hat dies durch exakte Experimente (1841 p. 27) in der Tat erreicht, indem er künstliche Steinkohlen und zwar aus frischem Holz hergestellt und später (1882) auf künstlichem Wege entstandene Braunkohlen und Anthrazit beschrieben hat. Die gewissenhaften und wichtigen Arbeiten PETZOLDS sind leider viel zu wenig beachtet worden. Ich gehe daher ausführlich auf sie ein. Der Genannte hat 1841 nachdrücklich darauf hingewiesen, daß die Steinkohlensubstanz einmal weich und flüssig gewesen sein muß. Es folgert dies 1. aus dem muscheligen Bruch, den ursprünglich mehr oder minder flüssig gewesene Substanzen nach ihrer Erhärtung aufweisen, und der bei der Steinkohle und noch auffälliger bei der Cannelkohle eintritt. 2. Dasselbe folgert PETZOLDT aus den nicht selten zu beobachtenden prismatischen und kugeligen Absonderungsgestalten[1]), die nur aus dem Rückzug (Schwinden) einer weichen oder flüssigen Masse während ihres Festwerdens erklärt werden kann. 3. Das mikroskopische Bild spricht ebenfalls für den ursprünglich weichen Zustand, da sich u. a. mit Gas gefüllte Bläschen finden.

Das Experiment zur Herstellung künstlicher Steinkohlen wurde in der Weise ausgeführt, daß PETZOLDT die Zeit, die zur Entstehung natürlicher Steinkohle gewöhnlich erforderlich ist, durch künstliche Hitzewirkung ersetzte. Er ließ äußerst starkwandige, gußeiserne Büchsen anfertigen, deren jede fest und luftdicht verschließbar war. In jede Büchse wurde ein Stück Holz (von *Carpinus Betulus*) gesteckt. Nach Verschluß wurden die Büchsen in einer Grube mit 2 parallelen Wänden, die mit Eisenplatten belegt waren, derartig eingeklemmt, daß die Deckel unmöglich weichen konnten, und dann wurde Feuer unter die Büchsen gemacht. Es ergab sich nach Schluß des Experimentes in den Büchsen das Vorhandensein einer schwarzen glänzenden, sehr vollkommen geschmolzenen Masse, die fast nur den halben Raum einnahm, den das Holz erfüllt hatte, nur sehr kleine Blasenräume enthielt, ein spezifisches

[1]) Über ellipsoidische bis kugelige Kohlengerölle vergl. hinten im Kapitel über Gerölle und konkretionäre Bildungen. Die oben gemeinte Absonderungserscheinung ist etwas anderes: es handelt sich um eine Kohle, die 1844 von J. ROTH abgebildet worden war und die in lauter kleine, mosaikartig, eng aneinander stoßende Würfel zerfällt, deren jeder meist eine kleine kugelige Absonderung enthält.

Digitized by Google

Gewicht von 1,18 besaß und von aller und jeder organischen Struktur entblößt gefunden wurde. Auch bei der angestellten trockenen Destillation verhielt sich die Masse wie Steinkohle.

In der Schrift von 1882, in der PETZOLDT übrigens das schon 1841 Gesagte wiederholt, beschreibt er dann Beobachtungen, die an Holzpfählen gemacht wurden, die beim Bau der Eisenbahnbrücke bei Alt-Breisach mit Dampframmen in den Boden getrieben werden sollten. Die an ihrem unteren Ende mit einem eisernen Schuh bekleideten Pfähle (aus „Tannenholz") schienen den Schlägen der Ramme nachgebend in den Boden zu dringen. Es zeigte sich jedoch, daß anstehende Felsen Widerstand geleistet und daß die Pfähle in ihren untersten Teilen (unmittelbar über dem Schuh) sich gestaucht hatten. Eine Untersuchung der gestauchten Teile ergab nun die interessante Tatsache, daß hier mehrere Pfähle inkohlt waren. Äußerlich konnte das nicht wahrgenommen werden, jedoch fand sich im Zentrum des gestauchten Teiles ein Klumpen Kohle und zwischen diesem und dem chemisch unverändert gebliebenen Holz der Reihe nach von innen nach außen geschwärztes, stark gebräuntes, schwach gebräuntes und endlich nur gelblich gefärbtes Holz. Von hervorragendem Interesse ist es nun, daß der innerste Kern der inkohlten Partie sich als Anthrazit erwies, der von Braunkohle umgeben war. Auch sonst wird in der Literatur wiederholt mitgeteilt, und auch mir ist die gleiche Tatsache bekannt geworden, daß Nadelholzstempel, die in Bergwerken lange einem beträchtlichen Druck ausgesetzt waren und sich mehr oder minder gestaucht zeigten oder auch ihre ursprüngliche Form bewahrt hatten, sich in ein braun-steinkohlenartiges Material umgewandelt hatten. Es liegt mir z. B. (nicht gestauchtes) Holzmaterial (wohl von *Pinus silvestris*) eines Stempels der Grube Schallmauer bei Bachem vor, an dem man zwar die Jahresringe noch erkennt, das aber auf dem Querbruch wie Pechkohle aussieht, mit demselben Glanz, den diese Kohlensorte aufweist. Ferner findet man noch öfter Angaben, daß eingerammte Hölzer oder doch solche, die plötzlichen starken Druckwirkungen ausgesetzt wurden in einem Gestein oder in einer Umgebung, die einen starken Widerstand leistete, oder Holzteile, die sich an mechanisch stark ausgesetzten Teilen von Dampframmen selbst befinden, Destillationsprozesse eingegangen sind unter Bildung teerig-asphaltiger Massen, wobei das meist noch als solches erkennbare Holz eine braunkohlig-lignitische, zuweilen sogar eine glanzkohlige (steinkohlige) Beschaffenheit angenommen hat.

Die in der folgenden von PETZOLDT gebotenen Tabelle angegebenen Merkmale für die beiden künstlich an den Rammpfählen erzeugten Kohlenarten, die er beschreibt, zeigen zur Genüge, daß mineralogisch und chemisch in der Tat die eine Kohlensorte Anthrazit (a), die andere Braunkohle (b) war.

Digitized by Google

	Kohlenvarietät a	Kohlenvarietät b
Absonderungsverhältnisse und Bruch	Unregelmäßig zerklüftet, schieferige Textur. Die Bruchflächen schieferig oder schuppig, kleinmuschelig. Beim Zerschlagen sehr spröde	Kaum zerklüftet; dicht. Die Bruchfläche uneben. Beim Zerschlagen weniger spröde
Glanz	Starker Fettglanz	Schwacher Fettglanz; zum Teil matt
Farbe; Strich	Schwarz; Strich schwarz	Schwarz; Strich braun
Härte	= 2—2,5	= 2—2,5
spez. Gewicht	= 1,71	= 1,33
Brennbarkeit	Sehr schwer entzündlich, verbrennt äußerst langsam, ohne Flamme	Entzündet sich leicht und verbrennt mit leuchtender Flamme
Mit Kalilauge gekocht	Die Lauge bleibt ungefärbt	Die Lauge wird stark braun gefärbt
Der trockenen Destillation unterworfen	Gibt so gut wie nichts aus	Gibt viel Teer und brennbares Gas
Im Dünnschliff mikroskopisch betrachtet	Schwarz und undurchsichtig. Zahlreiche, mehr oder weniger regelmäßige leere Hohlräume (als Löcher sich darstellend); sehr selten sehr kleine, mit gelber oder roter Substanz angefüllte Hohlräume	Gelb, hellbraun, rot gefärbt, durchsichtig Deutlich erkennbares Holzgewebe

Die in der Tabelle angegebenen Merkmale sind diejenigen, die für die Bestimmung einer vorliegenden Kohlensorte als Braunkohle bezw. als Anthrazit ausschlaggebend sind. Von diesen Merkmalen sei das eine, der „Strich", noch etwas näher besprochen, um die Art der Wertigkeit dieser Merkmale zu kennzeichnen; denn diese ist bei allen dieselbe, wie bei dem zu besprechenden, d. h. es findet ein vollständiges Fließen der Merkmale statt, darauf hinweisend, daß die vollständigsten Übergänge und Zwischenformen zwischen Torf bis Anthrazit, ja Graphit vorhanden sind.

In neuerer Zeit sind besonders die Versuche von Interesse, die Bergius (1913, S. 41) zur Herstellung von künstlichen Kohlen ausgeführt hat. Er benutzte dazu ein Autoklav, das er auch zu anderen Versuchen mit hohen Drucken benutzt hatte. Er hat besonders den Umstand berücksichtigt, daß frühere Versuche mit zu hohen Temperaturen arbeiteten, wodurch die sich bildende Kohle weiter zersetzt wurde; außerdem hat er berücksichtigt, daß der Zellulosezerfall ein Prozeß mit starker positiver Wärmetönung ist. Er benutzte Torf und Zellulose, die mit hinreichendem

Digitized by Google

Wasser in der Druckbombe im elektrischen Ofen genügend lange auf konstanter Temperatur von 250—350° erhalten wurden. Die erhaltenen Kohlen entsprechen analytisch den gewöhnlichen fossilen, waren aber zunächst pulverig. In einer besonderen Druckbombe wurde dann das Kohlenpulver bei etwa 340° zu einem harten kompakten Stück zusammengepreßt. Bei diesen Experimenten traten im Verkohlungswasser des Torfs kolloidal gelöste Stoffe vom Charakter hoher Fettsäuren auf, wie sie von ENGLER als Ausgangsprodukte von Petrolea angesehen werden. Durch Elektrolyte wie NaCl koagulierten sie; BERGIUS glaubt damit eine Erklärung für das häufige Zusammenvorkommen von Petroleum und Salzsolen gewonnen zu haben.

Der Strich[1]), den die Kohlen auf einer weißen rauhen Fläche hinterlassen, ist hellbraun durch alle Schattierungen bis schwarz. Im allgemeinen ist er um so schwärzer, je kohlenstoffreicher die Kohle ist. Daher haben auch die palaeozoischen Faulkohlen nur einen braunen Strich, die typischen Braunkohlen ebenfalls; aber es gibt auch palaeozoische Glanzkohlen noch mit braunem Strich, obwohl diese meist einen schwarzen Strich ergeben. Rezenter lufttrockner Faulschlamm ist im Strich von Faulkohlen nicht zu unterscheiden.

Für unseren Zweck ergibt sich aus dem Vorstehenden:

1. daß die Steinkohle vor ihrer Entstehung weich war wie der reife Torf, was auf den Vertorfungsprozeß schließen läßt,
2. daß Braunkohle, Steinkohle und Anthrazit nur Stadien eines Prozesses in einem Urmaterial sind, das im Prinzip gleichartig zusammengesetzt ist,
3. daß daher das Maß für die stärkere (oder zeitlich längere) Wirkung sich in der Tat durch die vorn angegebene Reihe in dem Sinne wiedergeben läßt, daß der folgende Kaustobiolith stets für stärkere Einwirkung von Bedingungen oder längere Dauer des fortschreitenden Prozesses spricht, als es bei der vorausgehenden Gesteinsart der Fall war.

Im Gegensatz zu diesem Resultat behauptet ED. DONATH (1904 und vorher und nachher): Braun- und Steinkohle seien chemisch etwas ganz Verschiedenes. Wenn er insbesondere meint, daß das Material der Steinkohle ganz frei oder sehr arm an Lignin sei[2]), so ist doch die

[1]) Nach STOPES sollte man zu Strichproben für Kohlen viel feinkörnigere Platten nehmen, als die Mineralogen meist benutzen.

[2]) DONATH und seine Mitarbeiter FR. BRÄUNLICH u. DITZ legen Gewicht darauf, daß Braunkohle mit Natronlauge erhitzt starke Braunfärbung und mit verdünnter Salpetersäure erwärmt starke Rotfärbung der Flüssigkeit zeigt. Es entstehen dabei Kohlendioxyd, Essigsäure und deren Homologa Oxalsäure usw. DONATH hält diese Verbindungen für Abbauprodukte von Lignin. Demgegenüber reagiert Steinkohle in beiden Fällen fast gar nicht.

Digitized by Google

Schlußfolgerung nicht angängig, „daß die Steinkohle allem Anscheine nach aus ligninfreiem oder zum mindesten aus sehr ligninarmem Material entstanden sei". Denn erstens wissen wir, daß Holz zur Steinkohlenbildung reichlich beigetragen hat (vergl. p. 7), und es ist nach Analogie das wahrscheinlichste, daß dieses Holz auch Lignin enthalten hat. Zweitens ist es nur zu natürlich, daß, je älter ein Humusgestein ist, um so zersetzter es im allgemeinen auch sein muß und um so weniger in demselben noch Verbindungen erwartet werden können, die mit denen in noch lebenden Pflanzen übereinstimmen. Vielmehr ist es bemerkenswert, daß überhaupt gelegentlich in Steinkohlen der Carbonzeit noch Ligninreaktion zu beobachten ist. Das ist ein Hinweis darauf, wie langsam die Selbstzersetzung bei gutem Abschluß der Stoffe vor sich geht. Wo die Bedingungen eine schnellere Zersetzung in Torf zulassen, verschwindet auch das Lignin schon in diesem schneller. Die Mittellamellen von Holz im Torf können nach GÉNAU DE LAMALIÈRE (1900) erhalten bleiben, und auch in mehr oder minder inkohltem Lignit ist das der Fall (GOTHAN 1906), während die Innenbekleidungen der Zellen (Hydroïden) durch Mikroben stark angegriffen und verändert sein können. Daher verschwinden Lignin und Zellulose. Es bleibt nur eine amorphe nach Oxydierung in Ammoniak usw. lösliche Substanz übrig. Übrigens ist in Vergessenheit geraten, daß FRANZ SCHULZE (1855) nach Behandlung von Carbonhumuskohle mit seiner Mazerationsflüssigkeit (vorn p. 62) in dieser Splitter gefunden hat, die „bei der Behandlung mit Chlorzink-Jodkalium-Jodlösung deutliche Reaktion auf Zellulose zeigten". — Mit demselben Rechte, wie von DONATH mit dem Lignin, könnte behauptet werden, daß es zur Carbonzeit kein Chlorophyll gegeben haben könne, da es zwar — trotz seiner namentlich unter Lichteinwirkung so leichten Zersetzlichkeit — unter Umständen noch in Ablagerungen des Tertiärs (im Dysodil), aber nicht mehr in Carbonkohlen nachweisbar sei. Der Schluß, der vielmehr aus solchen Erfahrungen allein zu ziehen ist, ist der, daß im allgemeinen mit dem Alter der Kohlen die Verbindungen progressiv chemisch immer stärker von den in lebenden Pflanzen vorhandenen Stoffen abweichen. Vor allem nimmt natürlich — hinreichenden Abschluß vorausgesetzt — der O-Gehalt immer mehr und mehr ab (vergl. p. 17).

In neuerer Zeit haben sich verschiedene Autoren, Geologen wie Chemiker, gegen die DONATHschen Anschauungen ausgesprochen. Wir nennen da hier nur WEITHOFER (1914) STOPES und WHEELER (1918) und MARKUSSON (1919). Auf diese wird in einer späteren Auflage näher einzugehen sein.

Bezüglich der kaenozoischen und palaeozoischen Humuskohlen ist aber allerdings noch zum Verständnis ihres Unterschiedes die ursprüngliche Verschiedenheit des Urmaterials in chemischer Hinsicht in Rechnung

Digitized by Google

zu ziehen, jedoch in anderer Richtung, als dies DONATH annimmt. Es ist nämlich bemerkenswert, daß in denjenigen Ablagerungen, die den größten Vorrat an Kohlen bergen, also im Produktiven Carbon, Lager von Liptobiolithen fehlen, was seinen Grund in einer zeitlich späteren Entstehung harzhaltiger Pflanzen haben könnte. Näheres darüber ist im Kapitel über die fossilen Liptobiolithe gesagt. Es ist daher anzunehmen, daß bei dieser zum Teil chemischen Verschiedenartigkeit der Urmaterialien, aus denen einerseits die Schwarzkohlen des Carbons und anderseits die Braunkohlen des Tertiärs hervorgegangen sind, auch die chemische Beschaffenheit dauernd etwas verschieden bleibt, mit andern Worten: es dürfte aus diesem Grunde aus Braunkohle des Tertiärs nicht im Verlaufe der Zeiten eine Kohle werden können, die ganz und gar derjenigen des Carbons gleicht. Vielmehr wird der oft reiche Harz- und Wachsgehalt der neueren Kohlen, der sich überdies bei seiner schweren Zersetzbarkeit noch im Verlaufe der Zeiten anreichern muß, dauernd die chemische Natur der Kohlen beeinflussen.

Mit Harz imprägnierte, sonst leicht zersetzliche Teile erhalten sich bekanntlich länger und zersetzen sich schwerer. Daran mag es zum Teil liegen, daß Tertiärkohlen oft so wenig zersetzt sind. Früchte, Samen und Holzreste treten uns in ihnen vielfach in nur subfossilem Zustande entgegen. Das Holz erscheint oft nur angebräunt. Es ist also so wenig in seinem Aussehen verändert, daß man über seine Natur keinen Augenblick zweifelhaft sein kann. Daher ist auch in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts für Braunkohle die Benennung braunholzige Kohle nicht selten. Die Isländer nennen ihre holzige Braunkohle Surturbrand nach dem mythologischen Feuerriesen Surtur, der einst die ganze Welt in Brand stecken soll. Die nur geringe Veränderung des Holzes hat bei ihrer Auffälligkeit der Tertiärkohle in der französischen und englischen Sprache und gelegentlich auch in der deutschen den Namen lignite und Lignit verschafft (lignum = das Holz). Das Wort Lignit sollte jedoch nur für das subfossile Holz selbst, nicht aber nun auch in übertragenem Sinne für die gesamten Tertiärkohlen Verwendung finden, und zwar deshalb, weil wir das Wort Lignit für die in Rede stehenden Hölzer brauchen. Die Kohlen selbst würde man danach nur dann als lignitische bezeichnen, wenn eben subfossiles Holz darin besonders auffällig ist, sei es, daß sie, wie in seltenen Fällen, fast ganz aus Lignit bestehen, sei es, daß sie viel davon enthalten, eingelagert in die Kohle von festerdiger Beschaffenheit: erdige Braunkohle. Wenn man nach solchen Merkmalen, wie nach dem Vorhandensein von Lignit in Braunkohlen, eine Klassifikation vornehmen wollte, so könnte man viele Kohlen ohne rechten Nutzen für die Wissenschaft unterscheiden. So nannte BRONGNIART mesozoische Kohlen stipite, weil er in ihnen *Cycadaceen* vorwaltend fand (von stipes = der Strunk), wie früher die

Digitized by Google

Botaniker u. a. gern die *Cycadaceen*-Stämme, auch Wedelstiele nannten. Die Namen für bestimmte Braunkohlenarten wie Bastkohle, Nadelkohle (lignite bacillaire), Proben, die z. B. aus Leitbündeln und Skelettsträngen von *Palmen* bestehen, Blattkohle (Laubkohle) usw. haben den gleichen Wert.

Einige Lignite, also tertiäre Hölzer, gehen an der Luft in „Pechkohle", d. h. in eine mehr homogene Kohle über, die nicht mehr ohne weiteres die Holznatur erkennen läßt.

Die hier und da vertretene Ansicht, die Tertiärkohlen seien ganz besonders auf zersetzte Holzreste zurückzuführen im Gegensatz zu geologisch älteren Kohlen, ist nicht begründet und ursprünglich nur dadurch veranlaßt, daß eben die Tertiärhölzer jedem ihre Natur so leicht verraten, namentlich dann, wenn sie sich infolge ihres Harzgehaltes besonders gut erhalten haben.

Unter diesen Umständen kann es nicht wundernehmen, wenn in der Braunkohle sogar noch Substanzen gleicher Art chemisch zu konstatieren sind, wie in lebenden Pflanzen. Weit weniger auffällig ist es bei dem Vorhandensein von so vielem Lignit in der Braunkohle, daß auch für Holzsubstanzen charakteristische Reaktionen mit Braunkohle möglich sind.

Weiter ist zu erwägen, daß die heutigen Torfe verschieden sind, je nachdem es sich z. B. um Sumpfmoor- Standflachmoor-, Zwischenmoor- oder Hochmoortorfe handelt, die jedesmal ganz anderen Pflanzengemeinschaften den Ursprung verdanken, und die unter sehr abweichenden Ernährungsbedingungen entstehen. Es ist aber einleuchtend, daß in erster Linie Flachmoortorfe geologisch erhaltungsfähig sind. Die meist gemischten Vegetationsbestände der Flachmoore ergeben bei der generell übereinstimmenden chemischen Konstitution der höheren Pflanzen, die hier in Betracht kommen, einen meist ziemlich übereinstimmenden Torf. Das Gros der Flachmoore ist und war stets mit Wäldern bestanden, was weiter hinten für die Carbonmoore noch besonders gezeigt werden wird.

Aus der verschiedenen Zusammensetzung der fossilen Humusgesteine ohne weiteres auf die Verschiedenheit der Urmaterialien zu schließen, ist bei der so komplizierten Zusammensetzung der Humusverbindungen, die man nicht einmal annähernd ermittelt hat, und zu deren Veränderung und Umbildung nur geringfügige Einflüsse gehören, nicht angängig. Tut man das, so müßte man auch die Unzahl von chemisch konstatierten Steinkohlensorten als aus differentem Urmaterial entstanden annehmen. Je nach dem Grade der Verwesungs- und Fäulnisprozesse, die mitgespielt haben, je nachdem das Material später dann noch den Atmosphärilien (der Luft und dem Wasser gleichmäßig oder einem von beiden vorwiegend) zugänglich oder verschlossen war, je nach der für die Umbildung zur Verfügung stehenden Zeit werden die mannigfaltigsten Resultate hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung der

Digitized by Google

Kohlen erreicht. Alles das ist zusammenzunehmen, um die Kohlensorten zu erklären. Es darf nicht ein einzelner Faktor allein herangezogen werden.

Wie sehr die äußeren Einflüsse die Ausbildung der Torf- und Kohlensorten bewirkt haben, zeigen noch folgende Tatsachen. Viele Torfe lassen sich verkoken wie Steinkohle, wobei wir auch hier — wie beim Holz p. 97 — ein steinkohliges Produkt erhalten, wenn wir die langsamen in der Zeit gegebenen Einflüsse durch Erhitzung von Torf in geschlossenen Retorten ersetzen. Braunkohlenähnlicher Torf, den man Braunkohle nennen würde, wenn er tertiären Alters wäre, gibt es mehrfach. So ist das „untere Torflager" im Diluvium von Lauenburg braunkohlig. Das komprimierte Torflager bei Honerdingen in der Lüneburger Heide ist braunkohlenähnlich. GÜMBEL spricht von einem diluvialen Braunkohlenlager unweit des Kochelsees usw. Freilich wurde früher (vergl. z. B. FAUJAS-SAINT-FOND) auch die Braunkohle des Tertiärs umgekehrt Turffa (Turfa), d. h. Torf genannt. Viele tertiären Kohlen lassen sich anderseits von Steinkohlen nicht oder nur schwer unterscheiden, z. B. die von Miesbach in Oberbayern, japanische Tertiärkohlen usw. (vergl. WEITHOFER 1914). Solche Kohlen heißen gewöhnlich Pechkohlen (auch Spiegelkohlen u. dergl.).

Mesozoische Kohlen sind erst recht oft steinkohlig, wie u. a. die Liaskohle von Fünfkirchen in Ungarn, die trefflich kokt, die Kohlen des Weihsien-Kohlenfeldes in Schantung usw., so daß man oft nicht imstande ist, auf Grund der chemischen und sonstigen Beschaffenheit solcher Kohlen auf ihr geologisches Alter zu schließen, wie denn in der Tat die erwähnten Vorkommen früher für palaeozoisch gehalten worden sind. Vom Chemiker mag hier eine Bestätigung folgen. BROCKMANN (1903 p. 263) sagt: „Die Kohlen des Deisters und von Obernkirchen gehören dem Wealden an, nach ihrer Zusammensetzung würden sie jedoch mitten in das Carbon einzureihen sein. Einige tertiäre Braunkohlen haben gleiche Zusammensetzung wie Kohlen der hangenden Partien des Saarreviers wie auch Oberschlesiens (also wie Carbonkohlen. — P.). Es müßten daher zwei sehr verschiedene Formationen nebeneinander mit der gleichen Zusammensetzung gestellt werden." Es gibt sogar anthrazitische Kohlen mesozoischen Alters. Jungpalaeozoische Kohle — wie die im Unterrotliegenden vom Elsaß — kann Anthrazit sein. Der berühmte Anthrazit von Pennsylvanien oder besser gesagt des Appalachian-Kohlenfeldes gehört den höheren Schichten des Produktiven Carbons an. Über seine Entstehung hat sich schon CHARLES LYELL (1845) auf Grund von Untersuchungen amerikanischer Forscher dahin zutreffend geäußert, daß der Grad, bis zu welchem die Kohle ihre gasförmigen Bestandteile verloren habe, mit dem Maße der Störung zusammenhinge, welche die Schichten erlitten hätten. „Das Zusammenfallen dieser Erscheinungen

Digitized by Google

muß man zum Teil der größeren Leichtigkeit zuschreiben, womit die flüchtigen Substanzen entweichen konnten, wo das Zerbrechen der Felsen eine unendliche Zahl von Rissen und Spalten hervorgebracht hatte, und zum Teil auch der Hitze der Gase und des Wassers, die durch diese Spalten hervordrangen, als gewaltige Bewegungen eintraten, die die Schichten der appalachischen Gebirgskette zerrissen und umstürzten." So sind u. a. aus Nordamerika Beispiele in reicher Fülle bekannt, wo ein und dieselben Kohlenlager im zerklüfteten Gebirge anthrazitisch, — dort, wo nur welliges Terrain vorherrscht, schon gasreicher, und dort, wo noch die ursprüngliche, horizontale Lagerung angetroffen wird, gasreich sind. Die Amerikaner nennen ihren Anthrazit Hartkohle, ihre gasreichere Humussteinkohle Weichkohle.

Schließlich gibt es auch anthrazitischen Graphit, und Graphit kommt auch als Begleiter von Anthrazit vor, z. B. in der Grube Grône am linken Rhoneufer. Aber der Graphit dürfte, soweit bis jetzt bekannt (vergl. p. 90), nur unter Einwirkung von Hitze entstehen. Wenn er aber vorwiegend aus einem Kaustobiolith hervorgegangen ist, so ist zu verlangen, daß es ebenso wie z. B. zwischen Braun- und Schwarz-(Stein-)Kohle alle Übergänge von Anthrazit zu ihm gibt. Das ist in der Tat der Fall. Solche Mittelglieder sind der Schungit INOSTRANZEFFS, der Graphitoid SAUERS und der Graphitit LUZIS. Der Schungit z. B. enthält nach LUZI 98,10% C, 0,43 H, 0,43 N und 1,09 Asche, aber kein O mehr, das noch im Anthrazit vorhanden ist. Bei den folgenden nehmen dann auch H und N immer mehr bis zum schließlichen Verschwinden ab, so daß wir dann eben Graphit, d. h. C erhalten. Wir haben also in Fortsetzung der Reihe Torfe mit 50—58, Braunkohlen mit 55—75, Schwarz-(Stein-) Kohlen mit 74—96 und Anthrazit mit 90—95% C, ebenso allmähliche Übergänge bis zum Graphit.

Wie sehr die Veränderung der Kohlensorten von den Einflüssen der Atmosphärilien usw. abhängig ist, mögen noch einige weitere Beispiele erläutern.

In vielen Fällen haben die Atmosphärilien durch tektonische oder sonstige Verhältnisse leichter oder schwerer Zugang zu den Humuslagern gehabt, oder aber diese waren gänzlich abgesperrt. So ist z. B. bei Sätteln die Kohle in der Sattellinie meist entgaster als die Kohle desselben Lagers in anderen Partien (Ruhrrevier). Die „magere" (entgastere) Kohle gehört sonst der älteren Abteilung der im Ruhrrevier vorhandenen Horizonte an, die jüngeren Kohlen sind „fetter" und „fett" (gasreicher). Die Kohle der im Norden des Revieres gelegenen Vorkommen von Piesberg (Anthrazit) und Ibbenbüren sind aber noch magerer als die älteren Kohlen des Ruhrreviers, obwohl sie die jüngsten Steinkohlenhorizonte dieses Bezirkes sind. Ein sehr gleichmäßig liegendes Kohlenlager bei Obernkirchen (Bückeburg) zeigt da, wo Sandstein das

Digitized by Google

Deckgebirge bildet, das Lager entgast und nicht verkokbar im Gegensatz zu den Stellen, wo Schieferton darüberlagert. Im Aachener Revier ist ein Steinkohlenlager in seiner abgesunkenen, stark bedeckten Partie fett, in der höher liegenden mager. Die Entstehung von „Mager-" und „Fettkohlen" ist daher wesentlich abhängig von dem leichteren oder schwereren Zugang der Atmosphärilien. Ähnlich ist es mit den Steinkohlen im Erkelenz-Brüggener Horst, wo Äquivalente der Gas- und Fettkohlenpartie des Ruhrkarbons außerordentlich gasarm (5—7 %) entwickelt sind (JONGMANS 1915).

Durch plutonische Gesteine kann jede Kohle graphitisch, kokig, anthrazitisch und steinkohlig werden, je nach der Intensität der Hitzewirkung. Steinkohle findet sich im Kontakt mit Eruptivgesteinen zu Graphit und Koks metamorphosiert. Wie heutzutage Waldbrände entstehen und oft genug entstanden sind durch glühende Lavaströme, wenn diese ein bewaldetes Gebiet erreichten, so haben Lavaergüsse auch gelegentlich in vergangenen geologischen Epochen Braunkohlen- und Steinkohlenlager zu teilweiser Verbrennung gebracht, und zwar zur Verkokung, wenn die Kohle sich unter hinreichender Bedeckung befand, ebenso wie Holzkohle aus Holz entsteht, wenn es zur vollständigen Verbrennung unter nicht genügendem Luftzutritt verbrannt wird. Im Saarbrückenschen hat ein Erguß vulkanischen Gesteins (Melaphyr) ein Steinkohlenlager teilweise verkokt, und Ähnliches ist aus Niederschlesien (durch Porphyr) und anderen Revieren bekannt. Berühmt ist die anthrazitische Stengelkohle vom Meißner in Hessen, wo Basaltergüsse das dortige Braunkohlenlager teilweise in die genannte steinkohlenartige feste Kokskohle umgewandelt haben. Es können dann alle Übergänge zwischen Kohle und Koks entstehen. So ist die dortige Braunkohle zwar in größerer Entfernung vom Basalt typische Braunkohle geblieben, jedoch je mehr man sich innerhalb des Lagers dem Basalt nähert, um so mehr nimmt sie die Eigenschaft des Kokses an, und die in nächster Nähe des Basalts befindliche Kohle ist vollständig in Koks (Stengelkohle, Stangenkohle, stengeligen Anthrazit) verwandelt worden. Die Wirkungen der Hitze haben überdies partiell aus der Braunkohle Kohlen erzeugt, die den Habitus der Steinkohle, ja sogar des Anthrazits aufweisen (vergl. UTHEMANN 1892). Auch Graphit kann unter dem Einfluß eruptiver Gesteine aus Humuskohle entstehen, ebenso wie aus Sapanthrakon (p. 90). So sind die obersteierischen Graphitlager metamorphe carbonische Humuskohlenlager, wie schon die mit ihnen vorkommenden Pteridophyten beweisen (vergl. R. HOERNES 1900).

Die Beschaffenheit der Kohlen ist, wie wir gesehen haben, abhängig von den äußeren Bedingungen. Kohlen des verschiedensten geologischen Alters können daher gleichartig, Kohlen ganz gleichen Alters sehr verschieden voneinander sein, auch dann, wenn sie aus denselben

Digitized by Google

Pflanzenformationen entstanden sind. Freilich stimmen die Verhältnisse dort, wo sich Humus erhält, meist insofern überein, als die Erhaltung eben durch eine Bedeckung verursacht ist, wodurch ein Abschluß vor den Atmosphärilien bewirkt wird. Somit darf es nicht wundernehmen, daß meist die wesentlichen Bedingungen für die chemischen Änderungen gleich sind, daß die langsame Selbstverbrennung die Hauptrolle spielt. Sie kann als eine Funktion der Zeit angesehen werden. Damit muß aber notwendig im Durchschnitt die Kohle der älteren Formation reicher an Kohlenstoff sein, die der jüngeren dagegen immer ärmer werden, während umgekehrt ihr Gehalt an Sauerstoff zunimmt. Die Reihenfolge Anthrazit, Steinkohle, Braunkohle, Torf sagt also meist über das Alter der Humusablagerung etwas aus, abgesehen von Sonderfällen, von denen oben Beispiele geboten wurden. Hiernach — da die chemische Umsetzung in der Masse ständig fortdauert — könnte in der Tat aus Torf schließlich Steinkohle werden, wie schon der im lufttrockenen Zustande durchaus äußerlich steinkohlenähnliche Dopplerit eine Art Endprodukt der Vertorfung ist.

Bei der chemischen Umsetzung werden außer kohlenstoffreicheren Kohlen natürlich noch andere Produkte erzeugt, genau wie bei der Destillation der Steinkohle, insbesondere Gase, von denen p. 96 schon genügendes gesagt wurde.

Findet man auch immer noch in manchen der allerneuesten Lehrbücher (sogar der Chemie!) angegeben, daß Steinkohle Kohlenstoff mit Beimengungen sei, die gewöhnlich als Bitumina zusammengefaßt werden, so ist doch für niemand, der sich ein wenig mit den fossilen Kohlen beschäftigt hat, zweifelhaft, daß es sich in den fossilen Kohlen außer im Graphit und im Koks nicht um durch andere Beimengungen verunreinigten Kohlenstoff handelt, sondern um chemische Verbindungen insbesondere von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Man vergleiche hierüber z. B. das Buch von Muck über die Chemie der Steinkohle (1891). A. Baltzer besonders hat (1872) die Natur der fossilen Kohlen als chemische Verbindungen begründet. Schon die Tatsache der Verkokungsmöglichkeit und Lösungsfähigkeit von Kohlen, bei der dieselben geschmolzen werden, weist auf die Verbindungsnatur hin. Die chemische Umbildung, die langsame „Verbrennung" bei der Bildung der fossilen Kohlen geht ständig vor sich. Man könnte auch von einer ununterbrochenen, langsamen Destillation sprechen, deren Schnelligkeit von der Möglichkeit des Zutrittes der Atmosphärilien abhängig ist. Der Prozeß geht schneller vor sich, wenn viel Sauerstoff Zugang hat, langsamer, wenn er spärlich vorhanden ist. Die bei der allmählichen Selbstzersetzung gebildeten Gase werden meist durch die überlagernden Schichten festgehalten und entweichen erst, wenn der Druck aufhört. Ein Kubikmeter Steinkohle liefert im Maximum ca. 76 cbm

Digitized by Google

Gas. Gelegentlich wird durch ihren Gasinhalt explodierende Steinkohle beobachtet. Die oft beim Erhitzen wegen ihres Gasgehalts mit explosionsartigen Erscheinungen zerspringende „Knisterkohle" kommt besonders in der Nähe von Eruptivgesteinen vor, die die Veranlassung zur Bildung des Gases gewesen sind, das wegen des luftdichten Abschlusses nicht entweichen konnte. Auch die bei der Verwitterung des Torfes entstehenden Gase können so weit festgehalten werden, daß sie schlagende Wetter bilden.

Bei dieser ständigen Veränderung der fossilen Kohlen, womit naturgemäß eine Volumenabnahme verknüpft ist, die je nach den obwaltenden Verhältnissen ganz verschieden ausfallen muß und sich besonders in der Zeit äußerlich bemerkbar machen mußte, während der sich das Material noch im weichen Zustande befand, ist es ziemlich müßig, Berechnungen anzustellen, die generelle Auskunft geben sollen über die Volumenquantität organischen Materials, die nötig ist, um ein bestimmtes Volumen Kohle zu geben. Die Reduktionsbrüche müssen nach dem Gesagten je nach den Umständen ganz verschieden sein und schwanken tatsächlich in allen Grenzen, wie die Untersuchung von Spezialfällen ergeben hat. Bei dem vorn p. 97 erwähnten PETZOLDTschen Experiment hat eine Volumenreduktion von $^1/_2$ stattgefunden (PETZOLDT 1841 p. 26). Ich selbst habe für Sonderfälle (1893) an natürlichen Steinkohlen Reduktionsbrüche von $^1/_{90}$, $^1/_{21}$ gefunden. In dicht abschließenden, feinen Tonschiefern aber sind die Brüche oft höchstens auf $^1/_5$ oder gar nur $^1/_2$ zu schätzen, denn inkohlt erhaltene Wedelspreitenreste zeigen oft eine meßbare Dicke, wobei allerdings zu bedenken ist, daß manche früher für zart gehaltenen Blätter wie *Neuropteris, Callipteris* etwas lederig gewesen sein werden, worauf die davon hergestellten Epidermispräparate deuten (GOTHAN 1915); sonst ist anzunehmen, daß die Spreiten der palaeozoischen Farne nicht dicker gewesen sind als die von heutigen entsprechenden Arten. Bei Erwägungen, „wieviel Bäume" u. dergl. für ein bestimmtes Volumen Steinkohlen nötig sind, sind immer nur, um Vergleiche zu haben, die Verhältnisse in der gemäßigten Zone herangezogen worden. Allein es würde in Zukunft berücksichtigt werden müssen, daß es sich in den Carbonpflanzen — wie wir noch sehen werden — um schnell aufgewachsene, wenn auch nicht gerade tropische Pflanzen gehandelt hat.

Es ist im Vorausgehenden stets für die allmähliche Umbildung der Kaustobiolithe in Richtung der C-Anreicherung auf die langsame Selbstzersetzung verwiesen worden. Man findet aber die Meinung verbreitet, daß für die Bildung der natürlichen Kohlen Hitze notwendig war, und zwar wird dabei gewöhnlich noch die Mitwirkung des durch die Bedeckung der überlagernden Schichten vorhandenen Druckes angenommen. Wenn man Kohle bei niederer Temperatur destilliert, so gewinnt sie an

Digitized by Google

Heizkraft. Aus den vorbeschriebenen Experimenten und Vorkommnissen in der Natur ergibt sich die den Zersetzungsprozeß beschleunigende Wirkung der beiden genannten Agentien; aber bei der Bildung der gewöhnlichen Steinkohle haben sie keine Rolle gespielt. Sie kommen bei der Bildung der fossilen Humuslager nur gelegentlich in Frage. Kann man also auch — wie wir sahen — künstlich durch Druck und Hitze die fossil bekannten Kohlensorten herstellen, so ist doch der gewöhnliche Vorgang der Inkohlung in der freien Natur nicht durch solche Wirkungen bestimmt. Das wird u. a. bewiesen durch die noch mit anatomischer Struktur erhaltenen Reste, deren Zellen im allgemeinen vollkommen intakt, d. h. nicht zusammengedrückt erhalten sind. Vielmehr handelt es sich dort, wo die Zellen „zusammengedrückt" erscheinen oder ursprünglich zylindrische Reste als flache Objekte erhalten sind, ganz überwiegend um ein bloßes, infolge der Erweichung bei der Zersetzung stattfindendes Insichzusammensinken der Reste. Baumstämme in ganz lockerem, rezentem Torf, die sich nur wenige Dezimeter unter der Torfoberfläche eingebettet finden, können „plattgedrückt" sein, und GÜMBEL macht darauf aufmerksam, daß in „Schieferkohle" (= diluvialem Torf) der Schweiz „plattgedrückte" Holzstengel neben undeformierten Koniferenzapfen, die chemisch resistenter sind, vorkommen. In ganz dichten, braunkohligen Torfen, in der Steinkohlenformation usw. kommen Samen usw. ohne wesentliche „Verdrückung" vor. Der genannte Autor hat (1883 p. 127) lockeren Moostorf künstlich bei vollständigem Abschluß des Materials ringsum einem Druck von 6000 Atmosphären aussetzen lassen, wobei die Höhe von 100 cm auf die von 17,7 cm vermindert wurde. Der Torf erhielt dabei Pappdeckelbeschaffenheit und Schichtung — besser Schieferung (p. 54) — in ganz dünnen Lagen. In Wasser getan, gingen jedoch die zusammengedrückten Zellen wieder auseinander und nahmen ihre ursprüngliche Form an. Aus reifem Torf kann man bei derselben Prozedur ein äußerlich durchaus steinkohlenartig aussehendes Gestein erhalten; aber chemisch bleibt es Torf, ebenso verhält sich Faulschlamm, der auf meine Veranlassung in dem Kgl. Materialprüfungsamt in Gr.-Lichterfelde mit hohem Druck (4200 Atm.) behandelt wurde. Es ist wesentlich die chemische (langsame Destillation) Reduktion und Umbildung bei gewöhnlicher Temperatur, die bei der Bildung der Kohlenlager in Betracht kommt. Die Entstehung des Torfes und Moders beweist, daß weder Hitze noch Druck nötig sind für die Erzeugung von Lagern, die zum Inkohlungsprozeß schreiten.

Ideen, die wiederholt aufgetaucht sind, nach denen die Kohlenbildung mit der Selbstentzündung von Pflanzenmassen in Verbindung gebracht wird, sind nicht zu begründen; denn es handelt sich in den Kohlen der Kohlenlager durchaus nicht um echte Verkohlung zu Kohlenstoff, sondern um eine Inkohlung, um eine langsame, ohne fühlbare

Digitized by Google

Erhitzung stattfindende Selbstzersetzung wie beim rezenten Humus (insbesondere dem Torf). Einen Beweis für die Mitwirkung von Hitze (Selbstentzündung) hat man unter anderem in dem Verhalten der geothermischen Tiefenstufe im Kohlengebirge finden wollen. Im Durchschnitt nimmt die Temperatur nach dem Erdinnern für je 33 m um je 1 Grad zu. Im Steinkohlengebirge aber wird die Temperaturerhöhung schneller erreicht, so in gemessenen Fällen bei 27 m, unter Umständen sogar schon bei 17—18 m. Auch in Braunkohlengruben ist eine schnellere Zunahme der geothermischen Tiefenstufe beobachtet worden. Aber in Wahrheit ist eine bemerkenswerte Selbsterwärmung bei dem Prozeß der Inkohlung nicht zu beobachten (vergl. dasselbe Resultat über die Bituminierung bei H. STREMME 1904), weder in rezenten Torf-, noch in Braun- und Steinkohlenlagern; denn in Bohrungen durch Kohlengebirge konnte eine schnellere Zunahme der Temperatur nur zweifelhaft und höchstens andeutungsweise beobachtet werden, und die gegenteilige Beobachtung in Bergwerken liegt meines Erachtens daran, daß hier durch den erfolgten Aufschluß die Atmosphärilien Zugang haben und nun dadurch eine schnellere Oxydation mit Temperaturerhöhung die Folge ist. Unter Umständen vermag an der Luft sogar bekanntlich eine Selbstentzündung einzutreten. Hierüber das Folgende.

Schon THEOPHRAST (um 320 v. Chr.) kannte die Selbstentzündung der fossilen Kohle. Er wußte, daß sie zerschlagen, aufgehäuft und mit Wasser befeuchtet sich im Sonnenschein entzündet. Durch Lagern wird denn auch die Kohle schlechter, da immer mehr Gas entweicht, während sie — wie FAYOL experimentell belegte — bei Abschluß unter Wasser sich gut hält. Die Schilderung eines „brennenden Berges" im Saarbrücker Steinkohlenrevier befindet sich in GOETHES „Dichtung und Wahrheit", auf den die immerhin — besonders in der damaligen verhältnismäßig industriearmen Zeit — außergewöhnliche Erscheinung „brennender Erde" ersichtlich starken Eindruck gemacht hat. GOETHE war, obgleich vorbereitet, doch „überrascht" von dem „seltsamen Begegnis". Heutzutage sind brennende Halden in Gegenden, wo viel Steinkohlenbergbau getrieben wird, nichts Besonderes mehr. Die großen Mengen schwarzen Schiefers mit ihrem merklichen Gehalt an organischer Substanz sind es, die die Selbstentzündung jener zu Hügeln aufgehäuften, beim Abbau der Kohle sich ergebenden wertlosen Gesteinsmaterialien, d. h. der „Bergehalden" der Steinkohlengruben, veranlassen. Die lose Zusammenschüttung dieses Materials bietet dem Luftsauerstoff die Möglichkeit, in das Innere des Steinhaufens zu gelangen und so in Verbindung mit Feuchtigkeit die noch vorhandene brennbare organische Substanz zu oxydieren oder, wie ein anderer Ausdruck lautet, langsam (ohne Fenererscheinung) zu verbrennen in der Weise, wie blankes Eisen an feuchter Luft „langsam verbrennt", d. h. verrostet. Die geringe Wärme, die hierbei erzeugt

Digitized by Google

wird, wird wegen der schlechten Wärmeleitung des Gesteins nicht nach außen abgegeben, sondern erhöht die Temperatur in der Halde in gewisser Entfernung von der Oberfläche immer mehr, bis es schließlich — wahrscheinlich unter einer besonderen, unten angedeuteten Bedingung — zur Entzündung kommt. Auch der Braunkohlenbergbau kennt u. a. brennende Halden. So befinden sich solche in Böhmen in der Nähe von Königsberg bei Eger, bestehend aus dem p. 60 beschriebenen Cyprisschiefer. Auch Halden schlechter Braunkohle, die aus irgendwelchen Gründen mitgefördert wird, entzünden sich häufig. In vielen Fällen, so in dem Fall, den GOETHE im Auge hat, ebenso in dem von Eger, handelt es sich um einen Sapropelit. Gesteine dieser Art können technische Schwierigkeiten bereiten, wenn man nicht berücksichtigt, daß sie bei loser Packung sich entzünden können. Auf einer Bahndammstrecke, gerade an der Stelle, wo ein Bahnhof erbaut wurde und ein fossiles Faulschlammgestein als Baugrund aufgeschichtet worden war, entwickelte sich infolgedessen ein Erdbrand, der sehr störend war, denn brennende Halden sind wegen des von ihnen ausgehenden beizenden Qualms eine Kalamität für die Umgegend, da man den Brand oft nur sehr schwer löschen kann. Gelegentlich sammeln sich auch im Innern solcher Halden Gase an, die sich plötzlich unter Explosion entzünden und Gesteinstücke in die Luft schleudern können.

Ihrer Entstehung nach mit den Haldenbränden verwandt sind die im Bergbau so gefürchteten Brände von Kohlenlagern. An der Tagesoberfläche merkt man zuweilen nichts davon, da die Steinkohlenlager in der Regel — wenigstens in Europa — durch Tiefbau gewonnen werden. Bei Décazeville in Frankreich, wo sich Steinkohlentagebauten befinden, d. h. wo die Steinkohle zum Teil ohne Tiefbauschächte gefördert wird, befinden sich jedoch brennende Stellen, die durch fortgesetztes Qualmen und Rauchen höchst lästig sind. Dennoch wird in diesen Tagebauten ständig weiter gearbeitet. Weit schlimmer — wenigstens für die betroffenen Steinkohlengruben — sind Brände in Tiefbauten. An Löschen ist hier oft gar nicht zu denken. Man ist gezwungen, den ganzen brennenden Teil durch sorgfältige Abmauerung von der Luft abzuschließen, wodurch das Feuer schließlich aus Mangel an Sauerstoff erstickt. Erst nach Jahren kann man versuchen, den abgesperrten Teil wieder freizulegen, um noch die übrige Kohle zu gewinnen. Oft aber ist ein brennender Teil einer Grube für den Steinkohlenbergbau überhaupt verloren, da bei erneutem Luftzutritt der Brand abermals ausbrechen kann. Solche brennenden Kohlenlager sind in fast allen Revieren bekannt geworden, in Amerika (Pennsylvanien), im Ruhrrevier, im Zwickauer Revier usw. Die Entstehungsweise dieser Brände ist im Prinzip die gleiche wie bei den Kohlenstapeln, die an der Tagesoberfläche aufgehäuft sind. Noch vor einiger Zeit war in einer Berliner Gasanstalt ein solcher

Digitized by Google

Kohlenstapel in Brand geraten, wobei der sich entwickelnde Qualm die Umgebung weithin belästigte. Auch hier half kein Löschen, weil sich das Wasser bei der sich entwickelnden sehr großen Hitze in seine Elemente Sauerstoff und Wasserstoff zersetzt und dann dem Feuer immer neue Nahrung gibt, anstatt es zu ersticken. Man war daher gezwungen, den ganzen Stapel abzutragen. Steinkohle und die meisten Kohlen, die an der Luft aufbewahrt werden, oxydieren langsam und verlieren dadurch an Wert. Man hat deshalb neuerdings versucht, wertvolle Kohle unter Wasser zu lagern.

In Steinkohlenrevieren sieht man gelegentlich Dampf und Qualm dem Boden entsteigen. Dort sind Bruchlandstellen entstanden, unterhalb deren die durch den Bergbau geschaffenen Hohlräume zusammengestürzt sind. Die Reste der Kohlenlager und die organisches Material enthaltenden Zwischenmittel sind in Brand geraten und lassen wie die Fumarolen vulkanischer Gebiete Rauch und Dampf durch die im Bruchlande gebildeten Spalten und Klüfte an die Oberfläche treten.

Die Bedingungen für die Entstehung von Haldenbränden und ähnlichen Erscheinungen sind noch nicht befriedigend erforscht.

Früher schrieb man die Selbstentzündung der Kohle dem vielfach darin enthaltenen Schwefelkies zu, da dieser sich an feuchter Luft ziemlich rasch zersetzt. Heutzutage schiebt man die Schuld vorwiegend der in der Steinkohle sehr häufigen Holzkohle zu. Diese mineralische Holzkohle hat die gleichen Eigenschaften und das gleiche Aussehen wie die künstliche, die durch Meilerbrand gewonnen wird. Sie ist sehr porös und gestattet also dem Luftsauerstoff eine weitgehende Zirkulation in der Steinkohle. Sie hat ferner wie die künstliche Holzkohle die Eigenschaft, Gase in sich zu verdichten, wodurch die Wirkung des Sauerstoffs noch intensiver werden muß. Es gibt Steinkohlenflöze, die zum großen Teil aus solcher Holzkohle („Rußkohle") bestehen, wie das „Rußkohlenflöz" in Zwickau. Auch bei Commentry in Frankreich findet sich ein solches Lager. — Es ist allerdings zu beachten, daß auch Kaustobiolithe ohne Holzkohlengehalt wie die schon erwähnten Sapropelite sich selbst zu entzünden vermögen.

Holzkohle oder, allgemeiner und besser gesagt, verkohlte Substanz (in der Literatur auch als Faserkohle, faseriger Anthrazit, Fimme, mineralische Holzkohle, Moorkohle, Ruß und Rußkohle, gelegentlich auch schwarzer Rahm; franz., jetzt auch anglisiert fusain, von den Engländern auch mother-of-coal genannt) findet sich sehr häufig in allen Humus-Kaustobiolithen, aber auch, wenngleich seltener, in Sapropeliten. Über ihre Entstehung vergl. vorn p. 16. Wo man, wie in manchen Braunkohlen und Torfen, sogar noch Asche dabei findet, geht hervor, daß es sich um eine — vielleicht durch Blitzzündung — hervorgerufene Brandstelle in dem fossilen Moor handelt. Ich lasse es

Digitized by Google

hier dahingestellt sein, ob an anderen Fundorten von verkohlter Substanz diese nicht auch in anderer Weise entstanden ist, etwa durch Dehydratisation vermittels in Wasser gelöster H_2SO_4 oder durch Selbstentzündung der Urmaterialien. Selbstentzündung bereits fertiger Kohle liefert Koks, soweit die Kohle nicht verbrennt. Die viele Holzkohle in carbonischer Steinkohle verdient besondere Beachtung. Sie ist dort häufiger als in den rezenten Torfen und in der Braunkohle. Das „Rußkohlenflöz" im Revier von Zwickau zeichnet sich durch einen lagenweisen, schnellen Wechsel von (inkohlter) Humus-Glanzkohle und verkohlter Substanz aus. Sollten hier periodische Brände angenommen werden müssen? Sollte überhaupt im Carbon Blitzzündung eine generelle Erscheinung gewesen sein? Bei der Häufigkeit und dem oft lagenförmigen Auftreten der Rußkohle ist das kaum anzunehmen.

Es ist, um die Verschiedenheit der Carbonkohlen vom Torf, mindestens vom aschenreicheren Flachmoortorf und ihre vielleicht hier und da vorhandene Zugehörigkeit zum Hochmoortorf zu begründen, auch auf die Abnahme des Aschengehalts in vielen älteren Kohlen hingewiesen worden. Nächstliegend ist allerdings die Annahme, daß sich bei der weiteren Selbstzersetzung die Asche anreichern müßte, so daß es bei der Annahme der Carbonkohlenbildung wesentlich aus Flachmoortorf umgekehrt sein sollte als eben angegeben, d. h. je älter die Kohlen sind, um so aschenreicher müßten sie danach sein. Hier gibt wiederum das Stadium der rezenten Verhältnisse Aufschluß. Viktor Zailer und Leopold Wilk wiesen nach (1907 p. 49ff.), daß, obwohl die Aschenmengen der torfbildenden Pflanzen vollständig in den Torf übergehen, man dennoch Torfe antrifft, die weniger Asche enthalten, „als ihnen nach ihrer botanischen Zusammensetzung und dem Aschengehalte ihrer Konstituenten eigentlich zukommen sollte". So stagnierend, wie man das wohl gemeinhin annimmt, ist das Wasser in Torflagern nicht. Es findet vielmehr im Laufe der Zeit langsam und stetig eine Auslaugung, d. h. Fortführung der anorganisch-mineralischen Bestandteile statt. Sehr lehrreich sind in dieser Hinsicht die in Mooren gefundenen Leichen, deren Knochen nach der Auflösung ihrer Kalksalze eine biegsame, elastische Beschaffenheit angenommen haben. Solange noch eine größere Menge von Bergfeuchtigkeit in den Humus-Kaustobiolithen vorhanden ist, dürfte auch der Wasserwechsel durch Zirkulation und Diffusion in Ansehung der Zeit, die zur Verfügung stand, zur Entlaugung genügend gewesen sein. Sekundär allochthone Braunkohlen sind auffallend durchlässig für Wasser, ebenso wie in den feinen Rissen einer autochthonen oder primär allochthonen Kohle Wässer sich leicht bewegen, so daß in ihnen gegebenenfalls auch umgekehrt Mineralien (Kalkspat usw.) zum Absatz gelangen können. Bei der weiteren Zersetzung muß wohl ein langsames Zusammensinken und dabei leicht eine Rißbildung stattfinden.

Digitized by Google

Kleine Rutschflächen, die die Kohlen oft zeigen, sind vielleicht oft damit in Zusammenhang zu bringen. Auf eine Zusammenziehung und Neigung zur feinen Spaltenbildung weisen auch die senkrecht zur ursprünglichen Horizontalen in Steinkohle vorkommenden, kaum haarbreiten, mehr oder minder kreisförmigen Spalten, „Augen", hin, die mit anorganischem Mineral (Kalkspat oder Schwefelkies) erfüllt sein können, das dann beim Zerschlagen solcher „Augenkohle" (Kreiskohle) als feine, dünne Haut die Augen überziehend sichtbar wird. Jedenfalls erweisen solche Tatsachen die Möglichkeit einer Wasserbewegung in den Humus-Kaustobiolithen, also auch in den Humus-Kohlen.

Charaktere für Autochthonie und Allochthonie

Schon auf Grund der im Vorausgehenden mitgeteilten Tatsachen haben wir stets angenommen, daß die Steinkohlenlager und überhaupt die ganz überwiegende Mehrzahl der fossilen Humusager in demselben Sinne autochthon sind, wie die heutigen Moore. Es zeigt sich bei der Untersuchung der Einzelfälle in der Tat, daß allochthone Kaustobiolithe gegenüber den autochthonen in der geologischen Vorzeit wie auch heute stets dieselbe untergeordnete Rolle gespielt haben. Zur richtigen Beurteilung ist es aber zweckmäßig, die Merkmale an den rezenten und fossilen Lagerstätten für die Allochthonie und Autochthonie miteinander zu vergleichen.

Der Aufbau der meisten Schwarzkohlen- und Braunkohlenlager, mit Berücksichtigung namentlich ihrer liegenden Gesteine, im Vergleich mit dem Aufbau der Flachmoore zeigt in den wichtigsten Punkten so auffallende Übereinstimmung, das auch die Annahme einer gleichen Entstehung glaubhaft ist. Auch die Beschaffenheit der zu vergleichenden rezenten und fossilen Kaustobiolithe paßt in den Rahmen hinsichtlich der Struktur (vergl. Figuren 6 und 28) und auch der chemischen Verhältnisse hinein.

Ein starkes Gewicht zur Begründung der Allochthonie hat man vielfach auf die Tatsache gelegt, daß Steinkohlen so oft deutlich „geschichtet" seien. Man nahm daher an, daß sie durch Sedimentation entstanden sein müßten. Moortorf, dessen Autochthonie wir zweifellos kennen, ist aber ebenso oft „geschichtet". In Wahrheit handelt es sich gar nicht um eine durch Sedimentierung entstandene Schichtung, sondern einmal um eine scheinbare Schichtung, entstanden durch den Wechsel von glänzenden und matten Lagen, zum Teil auch um eine senkrecht zur Druckrichtung erfolgte Schieferung, die, wie wir p. 54 u. 64 gesehen haben, bei vielen Sapropeliten noch auffälliger ist. Man vergl. auch das p. 109 angegebene Experiment, bei welchem Torf unter künstlich bewerkstelligtem, hohem Druck sich geschiefert hatte. Solche Schichtung

Digitized by Google

von Kohlen kann daher nicht zur Begründung ihrer Allochthonie ins Feld geführt werden.

Gewöhnlich erstrecken sich die Steinkohlenlager viele, in Amerika sogar Hunderte von Quadratmeilen weit in verhältnismäßig reiner Beschaffenheit. Das Pittsburger Steinkohlenlager in Pennsylvanien, Ohio und Virginien schätzt man bei einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 1,80 m auf einen Flächenraum von rund 25000 qkm (7000 bis 8000 engl. □Meilen) ein. Wir vermögen auf Grund uns heute bekannter Vorkommnisse keine Vorstellung zu gewinnen, wie ein so ausgedehntes, gleichmäßiges Kaustobiolithlager und ebenso die anderen weitausgedehnten Steinkohlenlager durch Anschwemmung von transportiertem Pflanzenmaterial entstanden sein könnten, während wir sehr ausgedehnte autochthone Torflager heute kennen.

Sehr oft kann man nachweisen, daß unterirdische Teile von fossilen Pflanzen sich noch in dem Boden befinden, in welchem sie einst lebten. Diesen Boden möchte man seinem Aussehen nach versteinerte Humuserde nennen. Besonders findet sich im Liegenden der Steinkohlenlager meist ein Gestein, das die Wurzeln und die unterirdischen Organe der Pflanzen enthält, die die Moorbildung eingeleitet haben. Wenn man solchen Boden in Richtung der ursprünglichen Horizontalen durchschlägt, so sieht man horizontal verlaufende, zylindrische oder mehr oder minder plattge-

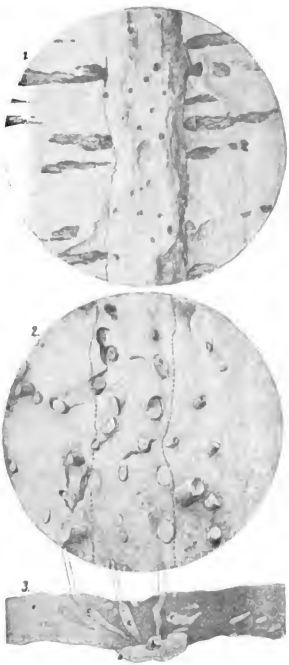


Fig. 33. *Stigmaria* mit nach allen Richtungen ausstrahlenden Appendices in $^1/_3$ der natürl. Größe. — 1. = *Stigmaria*-Hauptkörper a mit den kreisförmigen Narben, deren Appendices in dem abgedeckten Gesteinstück stecken. Die in der Schichtungsfläche befindlichen Appendices c sind mehr oder minder bandförmig. 2. = Dasselbe Stück von der Unterseite, die querverbrochenen, noch zylindrischen Appendices der Unterseite von a zeigend, 3. = Dasselbe Stück von der Seite gesehen. a der *Stigmaria*-Hauptkörper mit dem Marksteinkern, b; c die Appendices.

Digitized by Google

drückte, stengel- oder stammförmige, wiederholt gegabelte Fossilien, die *Stigmarien*, die die unterirdischen Organe von Bäumen sind. Von den *Stigmaria*-Zweigen gehen radial zur Längsachse ausstrahlend Gebilde („Appendices") ab, die man gewöhnlich bandförmig, gelegentlich aber auch noch in ihrer ursprünglichen Form zylindrisch erhalten, an dem Fossil gewöhnlich noch in der ursprünglichen Richtung abgehend angeheftet findet (Fig. 33). Das wäre unerklärlich, wenn solche *Stigmarien* nicht an Ort und Stelle gewachsen wären, d. h. dort, wo wir sie heute finden, in diesem selben Gestein, als es noch nicht verfestigt war; denn der anatomische Bau der Appendices, den wir genau kennen (vergl. Fig. 58A), macht es unmöglich, daß dieselben heute noch strahlig von dem Hauptkörper ausgehend das Gestein durchziehen könnten, wenn solche *Stigmarien* angeschwemmt worden wären. Wenn man sich das Objekt lebend und aus dem Boden herausgezogen vorstellt, so müßten die Appendices herunterhängen wie nasse Lappen, da sie, wie ein hohler Schlauch gebaut, gar keine festen Gewebe aufweisen, die ihnen Halt zu geben vermochten. Dies ist ein unwiderleglicher Beweis dafür, daß die *Stigmarien* des so gewöhnlichen *Stigmaria*-Bodens auch wirklich in dem Schiefertone gelebt haben, in dem wir sie heute finden. Instruktiv sind in der genannten Beziehung auch die echt versteinten Kohlenlagerteile (s. unter Dolomitknollen). Man kann hier die Konstituenten der Steinkohlenlager gut studieren und sieht die Pflanzenreste mit *Stigmaria*-Appendices stellenweise geradezu gespickt. Sie sind durch die den Boden bildenden Überbleibsel der Pflanzen, als diese in der Vertorfung begriffen waren, hindurchgewachsen. Durchaus analoge Verhältnisse bietet ein heutiger Röhrichtboden, z. B. durchwuchert von Rhizomen von *Arundo phragmites*, vergl. Fig. 38, von denen die Wurzeln abgehen, die physiologisch den Appendices entsprechen.

Da die *Stigmaria*-Appendices das Gestein nach allen Richtungen hin, nicht nur in den Schichtenflächen durchdringen, so ist dasselbe sozusagen verfilzt. Es ist daher so gut wie unmöglich, es in Richtung der ursprünglichen Horizontalen, der „Schichtungsflächen" zu spalten. Der durch die „Verfilzung" meist sehr zähe „Stigmarienschiefer" zerschlägt sich vielmehr mit grobholperigen Bruchflächen und springt nach allen Richtungen auseinander, so daß man schon dadurch leicht auf ihn aufmerksam wird.

Stigmariaschiefer findet sich nun im Liegenden sehr vieler Carbon-Kohlenlager als Hinweis darauf, daß die *Stigmarien* als unterirdische Organe zu dem Waldbestande gehörten, der die Moorbildung einleitete. Vielen Bergleuten sind die zu *Stigmaria*-Schiefern gewordenen *Stigmaria*-Böden längst bekannt. Die Engländer nennen ihn underclay (Unter-Ton).

Ich muß zur Verstärkung der für die Annahme der Autochthonie ausschlaggebenden Wichtigkeit des so gewöhnlichen Vorkommens von

Digitized by Google

Underclay unter den Steinkohlenlagern ausdrücklich betonen, daß ich ihn selbst bei Besuchen von Carbon-Revieren in Neu-Schottland, in Gr.-Britannien, in Frankreich und in allen Revieren des Königreichs Preußen an Ort und Stelle überall und immer wieder beobachtet habe. Die vielen von mir untersuchten Carbon-Bohrungen haben mir zum Überdruß oft die Erfahrung des Vorhandenseins von *Stigmarien*-Böden unter den Kohlenlagern bestätigt. Man kann so je nach der Tiefe der Bohrung und der Anzahl der durchteuften Kohlenlager 100 und mehr *Stigmarien*-Böden übereinander feststellen. LYELL hatte schon 64 solcher übereinander angegeben (vergl. u. a. auch W. E. LOGAN 1842, POTONIÉ 1895, 1896)[1]).

Man muß sich aber zur richtigen Beurteilung der fossilen Vorkommnisse gegenwärtig halten, daß Wälder von Bäumen, selbst solchen, die nur im feuchten oder nassen Boden gedeihen, nicht immer die Entstehung von Mooren zur Folge haben. Es darf also nicht wundernehmen, daß sich sehr oft auch autochthone *Stigmarien* in Schichten finden, die von einem fossilen Waldmoor, einem Kohlenlager, nicht bedeckt werden.

Immerhin gibt das Vorhandensein autochthoner *Stigmarien* allein schon einen Wink dafür, daß die Bedingungen, die lange Zeiträume hindurch unverändert geblieben sind, zur Entstehung eines Moores vorhanden waren. Wo es zu einer solchen nicht gekommen ist, hat frühere Bedeckung mit Sedimenten die Ausbildung der Wälder zu Mooren verhindert. Man muß dann natürlich mit der Möglichkeit rechnen, daß zeitweilig die Sedimentierung ganz oder so weit nachgelassen hat, daß einer ruhigen Entwicklung der Vegetation zu einem Moore nichts im Wege stand.

Autochthone *Stigmarien* weisen demnach darauf hin, daß die Bedeckung dort, wo sie vorkommen, nur so allmählich und ohne wesentliche Änderung der für das Leben der carbonischen Waldmoorpflanzen nötigen Bedingungen vor sich gegangen ist, daß Pflanzenindividuen Boden fassen konnten. Ein Anzeichen für die besonders langsame Sedimentierung in diesem Fall gibt auch die Tatsache, daß autochthone *Stigmarien* sich vorwiegend mit besonders grobem Häckselmaterial zusammen vorfinden. Das Vorwiegen autochthoner *Stigmarien* in besonders feinen Schiefertonen spricht ebenfalls dafür.

Nur gelegentlich muß die Aufhäufung des herbeigeschwemmten Gesteinsmaterials, natürlich insbesondere des Sandes, ganz wesentlich schneller, förmlich als plötzlicher Einbruch erfolgt sein. So sah ich in

[1]) Es soll aber nicht verschwiegen werden, daß namentlich in manchen Binnenbecken die *Stigmaria*-Böden doch zurücktreten; nach STERZEL (1901) müssen sie z. B. in dem Zwickauer recht spärlich sein.

Digitized by Google

einem Sandsteinbruch bei der Grube Maybach im Saarrevier (Schuckscher Steinbruch) mehrere senkrecht zu den Schichtungsflächen stehende Calamitensteinkerne bis zu 3 m Länge erhalten und zwar *Calamites Suckowi* (ohne jede sichtbare Verzweigung), deren Erhaltung auf diese Länge die eben gemachte Annahme fordert. Ähnliche Fälle sind auch von vielen anderen Stellen her bekannt. Es muß also hier die Bedeckung ziemlich schnell stattgefunden haben, so daß die ursprünglich hervorragenden Teile nicht vollständig verwesen konnten. Freilich kann man in solchen Fällen auch an ein Längenwachstum gemäß der fortschreitenden Bedeckung denken, eine Eigentümlichkeit, die gerade Moorpflanzen auszeichnet.

Lyell, auf dessen Beschreibung der Mississippi-Driftpflanzen so viel Bezug genommen wird, um die Allochthonie der Steinkohlen zu begründen, stand selbst auf dem Boden der Autochthonie. Daß die von ihm und vor ihm von Logan mit scharfem Blick in ihrer Wichtigkeit für unsere Frage erkannten Eigentümlichkeiten der *Stigmarien*-Schiefer in der Folge so wenig gewürdigt worden sind, ist ein Zeichen dafür, wie wenig die häufigsten palaeobotanischen Vorkommnisse bekannt sind, und wie wenig palaeobotanisches Wissen überhaupt auch in den Kreisen, die es nicht entbehren können, verbreitet ist, obgleich die genannten, erfahrenen Autoren und andere seit langem auf die jedem Steinkohlen-Bergmann als alltägliche Erscheinung bekannten *Stigmaria*-Böden unter den Kohlenlagern hingewiesen haben, wie z. B. v. Dechen (1823). Naumann stellt (1854, p. 545 ff.) alles Wesentliche damals Bekannte über solche Böden und fossile Wälder gut zusammen. Solche Angaben könnten durch die seitdem erschienene Literatur leicht vermehrt werden. Man vergl. auch Lyells Geologie. Ferner sei Richard Brown genannt.

Waldböden, die noch mit Baumstümpfen besetzt sind, sind häufig sowohl in der Steinkohlen- wie auch in der Braunkohlenformation aufgedeckt worden. In Whiteinch bei Glasgow ist ein solcher Boden, der der erstgenannten Formation angehört, als Naturdenkmal erhalten geblieben (Fig. 34), und im Senftenberger Revier (Niederlausitz) kommen beim Abbau der Braunkohlen imponierende Flächen mit Baumstümpfen zutage (Fig. 35). In beiden Formationen waren es Waldmoore, die während der ganzen Dauer der Humusbildung bewaldet geblieben sind.

Wie bei den fossilen Humuslagern, so treten die untergegangenen Moorwälder auch in den rezenten Mooren nur in Profilen und klar auch nur in Aufdeckungen in die Erscheinung. In beiden Fällen haben wir besonders im Liegenden der Torflager dasselbe Bild eines Waldes von kurzen Baumstümpfen (Fig. 36), als Beweis, daß diese Lager wenigstens in ihren ersten Stadien aus Wäldern hervorgegangen sind. Andere Moore besitzen Baumstümpfe bis zu ihrer oberen Fläche, wie das Braun-

Digitized by Google

kohlenlager des Senftenberger Reviers, in welchem miocäne Braunkohle abgebaut wird. Das mächtige Kohlenlager gibt sich schnell als ein

Fig. 34. Aufgedeckter Waldboden des produktiven Carbons mit Baumstümpfen von Lepidophyten, die unten in „*Stigmarien*" ausgehen. Victoriapark bei Whiteinch bei Glasgow. — (Nach John Young u. Glen.)

fossiles Swamp, also als ein fossiles Waldmoor zu erkennen, und da sogar einer der Hauptbäume in dem erwähnten fossilen Swamp und den rezenten Sumpfmooren (Swamps) des atlantischen Nordamerika wohl dieselbe Spezies

Digitized by Google

(Taxodium distichum) ist, so ist die Übereinstimmung noch überraschender. Wie in den rezenten Swamps mehrere Waldgenerationen übereinander an den in bestimmten Horizonten im Humus eingebetteten, übrig gebliebenen aufrechten Baumstümpfen zu erkennen sind, ist es auch bei

Fig. 35. Blick in eine Braunkohlengrube (Tagebau) des Senftenberger Reviers. b) Boden des abgebauten Teiles des Kohlenlagers, das bei k im Profil als Wand ansteht; d) Decke des Lagers aus Sand und Ton.

dem in Rede stehenden Braunkohlenlager mit dem einzigen Unterschiede, daß der Humus zu Braunkohle geworden ist. Im Liegenden des Lagers und im Hangenden, sowie mitten in demselben ist in zahlreichen und meist mächtigen, zuweilen mehrere Meter Durchmesser zeigenden bewurzelten Baumstümpfen der Rest der alten Wälder noch vorhanden.

Digitized by Google

Fig. 36. Torfstich bei Triangel in der Lüneburger Heide. a) Profil durch Flachmoorwaldtorf mit Baumstümpfen, b) durch Hochmoortorf ohne Stümpfe. Vor b und rechts davon der Hochmoortorf abgebaut, so daß der letzte Flachmoorwald c in Stümpfen zutage tritt. Hinten Hügel aufgeschichteter Hochmoortorfsoden.

Digitized by Google

Die gegenseitigen Entfernungen der Stümpfe voneinander entsprechen solchen, wie sie der Kampf ums Dasein im Urwalde schafft (Bilder bei POTONIÉ 1895 (1896) und Lehrbuch 1899 p. 338—345). Kurz alle Erscheinungen, die das Kohlenlager bietet, entsprechen dem, was von den rezenten Swamps bekannt ist. Die Stümpfe sind alle bis zu einer bestimmten Höhe abgebrochen, wodurch sie teils den ehemaligen Wasserstand anzeigen (der über das Wasser hinausragende Teil war durch den Einfluß der Atmosphäre hinfälliger als der unter Wasser befindliche), teils die Höhe bezeichnen, bis zu der die Torfbildung noch gediehen war, bevor die abgestorbenen Stämme vollständig der Verwesung anheimgefallen waren. Horizontal liegende Baumreste, Stammstücke, gelegentlich bis zu einer Länge von über 20 m, geben Kunde von den gestürzten Teilen der Riesen, die durch die schnellere Einbettung, in die sie durch ihren Sturz gelangt waren, erhalten geblieben sind.

Auch der Steinkern des Fig. 61 abgebildeten Stammstumpfes aus der Steinkohlenformation stand wie auch andere in seiner Nähe gefundene senkrecht zu den Schichtungsflächen des abgelagerten Gesteins. Der Wald, den unser Riese bilden half, müßte also bis zu einer gewissen Höhe von Schlamm überdeckt worden sein. In manchen Fällen wurden die Stämme allmählich, in anderen aber durch einen plötzlichen Schlammeinbruch eingebettet. Solche Waldreste aus Stammstümpfen sind im Carbon, namentlich im unmittelbaren Hangenden der Kohlenlager als die letzten Zeugen des einstigen Waldmoores häufig zu beobachten. Der englische Bergmann nennt sie coal-pipes (Kohlenpfeifen), der französische nach ihrer häufigen Kirchenglockenform cloches, der deutsche Kessel und Sargdeckel, da sie durch Absturz aus dem Hangenden einer abgebauten Kohlenlagerpartie schon oft Unglück angerichtet haben. Die in Rede stehenden Steinkerne tragen nämlich außen noch eine aus dem resistenten Hautgewebe hervorgegangene Kohlenrinde, die leicht eine Lockerung des Steinkerns aus dem umgebenden Gestein zur Folge hat. Gelegentlich bestehen die Steinkerne aus anderem Gesteinsmaterial als die Umgebung. Das läßt sich nur durch die Annahme erklären, daß es sich um einen autochthonen Stumpf handelt, der nach und nach ausfaulte und erst, nachdem eine aufnahmefähige Höhlung vorhanden war, Sediment aufnehmen konnte. Wenn außen Sediment von anderer Zusammensetzung bereits abgesetzt worden war, so muß der Steinkern dann natürlich aus anderem Material bestehen.

Nach einer von SORBY (1875) gegebenen Nachricht über einen bei Wadsley (Sheffield) beobachteten Sonderfall zeigen die unterirdischen Organe (Stigmarien) der Stümpfe eines solchen Carbonwaldes die Eigentümlichkeit, daß die nach Westen gerichteten Stigmarienzweige mehr horizontal gerichtet sind als die nach Osten gewendeten, die mehr in die Tiefe dringen. Dies trifft ziemlich deutlich bei allen Stümpfen des

Digitized by Google

in Rede stehenden Carbonwaldes zu. SORBY vergleicht diese Erscheinung mit der an rezenten Waldmoorbäumen, wo sie durch einseitige Windrichtung hervorgerufen wird. Sie wäre dann in dem fossilen Waldmoor von Westen nach Osten anzunehmen. Man findet die angegebene Ausbildung der unterirdischen Organe an den rezenten Waldmoorbäumen natürlich nur da, wo sie ständig dem Winde ausgesetzt sind. Auch vom Winde niedergelegte und daher mehr oder minder parallel gelagerte Baumstämme sind in Torf- wie in Braunkohlenlagern gelegentlich zu beobachten. So sah ich einmal einen schönen Windwurf paralleler großer Stämme in der Grube Ilse des Senftenberger Reviers. In der Steinkohle selbst sind bei der zu weit fortgeschrittenen Zersetzung solche Beobachtungen kaum möglich.

Außer bei den *Lepidophyten* mit ihren *Stigmarien* kann man auch bei anderen Steinkohlenpflanzen die besprochene Erscheinung beobachten, z. B. bei den Rhizomen der *Calamariaceen*, deren Wurzeln („*Astromyelon*") zuweilen ebenso wie die Appendices autochthoner Stigmarien noch wie zu Lebzeiten direkt nach mehreren Seiten im Gestein verlaufen (vergl. Fig. 60); auch bei Cordaiten ist es so nach GRAND' EURY[1]).

Fig. 37. Röhrichtboden a unter einem Braunkohlenlager b. Grube bei Teuchern (in der Provinz Sachsen). c ist eine Strosse auf dem Röhrichtboden; einzelne Stücke des Bodens liegen auf der Strosse. (Nach einer zur Verfügung gestellten Photographie.)

[1]) Dessen letztes, leider unvollendetes Werk: Recherches géobotaniques usw. 1913 enthält überhaupt eine Fülle von Beobachtungen über fossile Vegetationsböden und wird als eine Quelle hierfür immer von großem Werte sein.

Digitized by Google

Die *Calamariaceen* bildeten Röhrichte, und solche, wenn auch aus anderen Pflanzenarten zusammengesetzt, gibt es, wie wir p. 35 sahen, auch heute noch. Man findet daher auch Röhrichtböden in den geologischen Formationen vom Palaeozoicum ab bis in die Gegenwart, während Waldböden, zu denen die *Stigmaria*-Böden gehören, als Liegendes von Mooren stets häufig gewesen sind.

Mesozoische, kaenozoische (Fig. 37) und rezente Röhrichtböden (Fig. 38 und 39) sind dadurch ausgezeichnet, daß die Wurzeln der horizontal in diesen Böden oder in dem unmittelbar überlagernden Humusgestein verlaufenden Stengelorgane (Rhizome) parallel zueinander senkrecht zu den Schichtungsflächen verlaufen. In solchen Fällen haben wir es als Veranlasser der Moorbildung mit Röhrichtbeständen zu tun, unter denen heute, insbesondere bei uns, das Schilfrohr *(Arundo phragmites)* eine hervorragende Rolle spielt als erstes Stadium von Sumpfmoorbildungen (vergl. vorn p. 35). Bei der Lakunosität der Röhrichtwurzeln — das ist überhaupt eine Eigenart von Sumpf- und Wasserpflanzen — ist oft nur das resistentere Hautgewebe übrig und der ganz hohl gewordene Innenraum anderweitig, z. B. mit Sand ausgefüllt. Ähnlich wie Waldböden (p. 117) so befinden sich aber natürlich nicht Röhrichtböden stets nur unter rezenten oder fossilen Humuslagern, sondern sie können auch ohne Begleitung eines Kaustobiolithes vorkommen oder die hangende Partie eines Kaustobiolithlagers sein. Hier haben wir dann auch unmittelbar vor der Beschüttung des Moors mit allochthonem Sediment einen Röhrichtbestand gehabt[1]).

Sehen wir nun auch, daß es sich namentlich da, wo fossiler Humus in Form von Schwarzkohlen- und Braunkohlenlagern vorkommt, allermeist um autochthone Bildungen handelt, so gibt es doch auch eine große Anzahl von Fundstellen fossiler Pflanzen, die durchaus allochthon sind. Bei der Betrachtung von Pflanzenfossilien einer bestimmten Lokalität sollte die Frage nach der Authochthonie oder Allochthonie der Reste stets erwogen werden, weil es von der Beantwortung dieser Frage abhängt, inwieweit ein Vorkommen mit einem anderen vergleichbar ist oder nicht, und eine vorausgehende Klarheit in der Sache davor schützt, Ähnlichkeiten, die nur durch den Erhaltungszustand der Reste bedingt sind, etwa bei Parallelisierungen ins Feld zu führen, und umgekehrt einen Fundpunkt, der nur autochthone Reste birgt, als geologisch verschieden von einem andern, der nur allochthone Reste enthält, anzunehmen, nur weil hier die Erhaltungszustände andere sind und so bei Nichtbeachtung dieses Verhaltens dazu verführen, eine ganz andere Flora zu erkennen.

[1]) Sehr schön sind z. B. die Equisetiten-Röhrichtböden im mittleren Jura von Yorkshire (Whitby u. a.). Vergl. u. a. HALLE (1913). Wurzelböden unter mesozoischen Flözen zeigen sich oft in der Fünfkirchener Gegend (Ungarn) und im Weald des Hannöverschen.

Digitized by Google

In autochthonen Bildungen erhalten sich auch zartere Reste, z. B. spreitige Farnwedelteile, die in allochthonen Bildungen fehlen oder doch gelegentlich nur in kleinen Fetzen auftreten. Schon daraus — bei der

Fig. 38. Rö = Röhrichtboden mit *Arundo phragmites* unter einem Torflager T in Gr.-Lichterfelde bei Berlin. Aufgeschlossen gewesen beim Bau des Teltow-Kanals. Auch die mehr oder minder horizontal verlaufenden Rhizome (in dem Teil Rh des Profils), von denen die Wurzeln ausgehen, treten hier auffällig hervor.

Wichtigkeit der im Palaeozoicum so zahlreichen Farnarten — geht hervor, daß Listen mit Angabe der Pflanzenreste zweier verschiedener, aber dem gleichen Horizonte angehörender Fundpunkte, wenn der eine autochthone, der andere hingegen allochthone Reste birgt, ganz verschieden ausfallen

Digitized by Google

müssen und nur dann ein Urteil über Ähnlichkeit oder Verschiedenheit beider Floren gestatten, wenn die Erhaltungszustände und Zusammengehörigkeiten der in Frage kommenden Reste bekannt sind. Da wir aber hierüber noch in den Anfängen stecken und überdies verschiedene Arten gleiche oder doch fossil nicht unterscheidbare Erhaltungszustände besitzen (*Knorrien* können z. B. zu *Lepidodendraceen*, *Bothrodendraceen*, *Cyclostigmen*, ja sogar zu Farnstämmchen gehören), so erhellt die Schwierigkeit des Vergleichs selbst dann, wenn wir in den zu vergleichenden Fällen nur allochthone Bildungen zur Verfügung haben, da

Fig. 39. Sapropel-Kalk als Röhrichtboden. Aus dem Liegenden des Torflagers Fig. 38. $^1/_1$.

gleiche Erhaltungszustände auch gleichen Bildungen entsprechen, und gerade die allochthonen Reste naturgemäß stark beschädigt auftreten und hier gleiche Erhaltungszustände verschiedener Art häufiger sind.

Wo Kohlenlager vorkommen, handelt es sich im allgemeinen meist um autochthone oder doch nur wenig durch die einbrechenden Wasser verschwemmte Pflanzeneinschlüsse in dem begleitenden Gestein, das die Reste (namentlich das hangende Gestein) oft wie in einem Herbarium eingebettet zeigt. Wenn sich z. B. in Tonschiefern schöne (inkohlte) Farnwedel fast ohne Beschädigung ausgebreitet finden, kann es sich nur um an Ort und Stelle oder dicht bei der Heimatstelle eingebettete

Digitized by Google

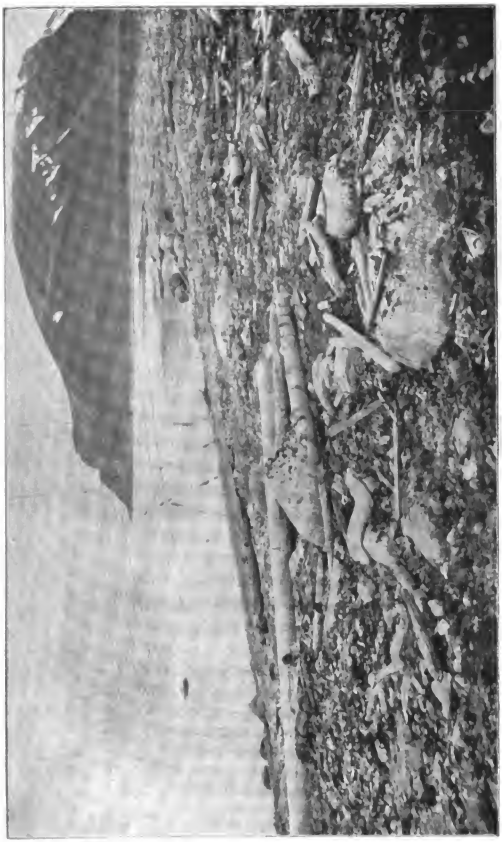


Fig. 40. Treibholz-Strandtrift auf der Amsterdam-Insel. (Nach einer von Hrn. Prof. A. G. NATHORST angefertigten und mir freundlichst überlassenen Photographie).

Digitized by Google

Reste handeln als Anzeichen der letzten Vegetation, die das nunmehr fossile Moor bekleideten. Gut erhaltene Wedelreste usw. kommen aber nicht etwa konstant im Hangenden von Kohlenlagern vor. Vielmehr ist es nach der ganzen durch die Tatsachen bestätigten Theorie der Autochthonie der wesentlichen Kohlenlager selbstverständlich, daß auch im Hangenden wieder *Stigmaria*-Schiefer usw. und wenige oder keine Wedelreste vorkommen können, wenn nämlich nach schwacher Sedimentierung und darauf eingetretener Ruhe wieder ein Wald erwachsen konnte oder im anderen Fall, wenn die eintretende Überschwemmung mechanisch so stark wirkte, daß die in die Luft ragenden Pflanzenteile fortgenommen wurden, ganz in Übereinstimmung mit den gleichen Fällen bei unseren rezenten Mooren. Wo aber größere Blattspreitenteile vorhanden sind, so namentlich gegliederte Farnwedelreste, die bei ihrer Zartheit einen längeren Wassertransport nicht ohne wesentliche Zerstörung vertragen, da ist der Beweis für eine Einbettung an Ort und Stelle gegeben. Beim Transport von Pflanzenteilen findet nämlich eine Zerkleinerung zu natürlichem Häcksel oder mindestens eine Deformierung statt durch die mechanischen Beschädigungen, die durch das Anstoßen an Ufer, Küsten, das Anstoßen der Schwemmstücke aneinander und durch die Wasser- (Wellen-) Bewegung verursacht werden. Als Häcksel bezeichnen wir das dabei zerkleinerte Material. Die einzelnen Stücke besitzen untereinander etwa gleiche Größe. Sie sind kleiner oder größer je nach der Zeitdauer der mechanischen Einwirkungen. Natürlich kommt außerdem die Festigkeit der verschwemmten Teile in Betracht. Die bekannten zahlreichen Baumstämme aus Mittelamerika, die der Golfstrom an den Küsten Nordeuropas absetzt, gehören im paläobotanischen Sinne zum Häcksel (Fig. 40).

Aber auch hier ist bei der Beurteilung Vorsicht vonnöten. Denn Humus (Moder, Torf) und Sapropel können, auch wenn sie autochthon sind, aus kleinen, untereinander etwa gleich großen Organismenteilen zusammengesetzt sein, sei es, daß von vornherein, wie im Sapropel, durchschnittlich kleine Organismen zu den Urmaterialien gehören, sei es, daß der Zersetzungsprozeß das meiste homogen zersetzt hat, wie in alten Torfen, sei es, daß Tiere, wie Regenwürmer für eine Zerkrümelung gesorgt haben wie in Moderbildungen.

Es bedarf keiner näheren Begründung, daß eine Stranddrift, wie die Fig. 40 abgebildete, keine ordentlichen Kaustobiolithlager ergibt. Auf ein eventuell fossiles (triadisches) Vorkommen von pflanzlicher Stranddrift macht E. Philippi (1898) aufmerksam. Er beschreibt das Vorkommen von *Trigonodus*-Dolomit am Hühnerfeld, in dem er eine Lage „einer eigentümlichen humösen, teilweise sehr lockeren Masse, die beim Angraben einen eigentümlichen Geruch ausströmt", angibt. Die in Verbindung mit diesem Humuslager auftretenden Muschelreste weisen darauf

Digitized by Google

hin, daß diese Schichten als eine Strandbildung zu deuten sind, und so glaubt PHILIPPI in der humosen Schicht „eine Anhäufung von Tangen erblicken zu dürfen, wie wir sie am Strande so häufig zu sehen

Fig. 41. Tang-Strand-Drift auf Helgoland. (Photographie, die ich Herrn Prof. P. KUCKUCK verdanke.)

Gelegenheit haben". Es ist zuzugeben, daß hier eine fossile Stranddrift vorliegen könnte, wenn auch die Tangnatur der Reste, die sie zusammensetzen, noch näher zu begründen wäre.

Digitized by Google

Fig. 42. Fossiler Parallel-Häcksel in culmischem Grauwacken-Schiefer aus dem Magdeburgischen. Natürl. Größe.

Digitized by Google

Vielleicht handelt es sich in dem Unter-Devon-Kohlenlager oder besser -Schmitz von Neunkirchen in der Eifel aber in der Tat um Tangalgenkohle, die ähnlich wie vom Sande eingebettete Tangstranddrift (Fig. 41) auf Helgoland und der Bretagne (s. POTONIÉ, Sapropelite 1908, p. 168) entstanden ist. Das hangende Gestein des kleinen Neunkirchener Kohlenlagers ist nämlich dicht durchsetzt mit *Haliserites Dechenianus*, einem Fossil, das wohl als ein Tang angesehen wird, wobei allerdings nicht verschwiegen werden soll, daß ähnliche Dinge aus dem Old-Red Schottlands mit Psilophyten verglichen werden, d. h. mit niederen Pteridophyten.

Sind die Häckselbestandteile länglich, so kann man oft noch auffallend gut die Richtung, welche einst der einbettende Wasserlauf genommen hat, daran erkennen, daß diese Stücke alle fast parallel zueinander liegen. Solcher fossiler Parallelhäcksel (Fig. 42) darf nicht mit ebenfalls parallel laufenden Röhrichtwurzeln verwechselt werden. Aber diese Gefahr ist nicht groß; denn der Häcksel liegt auf den Schichtungsflächen, während die Wurzeln z. T. quer dazu verlaufen. Wo Parallelhäcksel in der angegebenen Hinsicht verwertet werden soll, ist zu erwägen, ob er am Wasserrande oder inmitten eines fließenden Wassers abgelagert wurde. Im letzteren Fall liegt er durchschnittlich in Richtung der Strömung, im ersten senkrecht zur Stoßrichtung des Wassers. Die antreibenden Häcksel-Elemente legen sich parallel zur Uferlinie, weil sie mit einem ihrer Enden anstoßend umgelegt werden. Auf den Strand geworfen liegt aus gleichem Grunde der Häcksel parallel zur Uferlinie. (Vergl. Fig. 43.)

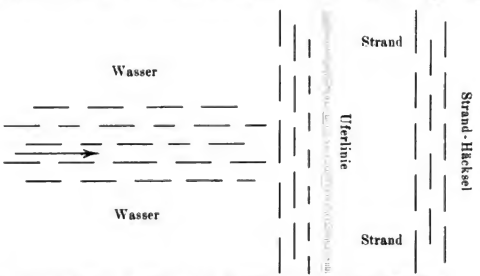


Fig. 43. Schematische Darstellung der Lagerungsrichtung von Häcksel (⌶–⌶–⌶) zu der von dem Pfeil angegebenen Stoßrichtung des Wassers.

Selbstverständlich können auch autochthone Kaustobiolithlager direkt von Sedimenten mit (allochthonem!) Häcksel bedeckt sein, wenn nämlich mit dem Sediment Pflanzenreste von weiter her mitgeführt werden, was wiederum den Vorkommnissen auf unseren rezenten (autochthonen!) Flachmooren entspricht.

Digitized by Google

Die Allochthonie charakterisiert sich naturgemäß durch die Spärlichkeit botanisch bestimmbarer Pflanzenreste, durch das vergleichsweise häufige Vorkommen stamm- und stengelförmiger Steinkerne, die zwar noch eine inkohlte Rinde aufweisen, deren Oberflächenskulptur jedoch gewöhnlich so vollständig verwischt ist, daß auch nicht annähernd eine Bestimmung möglich ist. Im Carbon findet man in diesem Fall das überwiegende Vorkommen der Lepidophyten-Stammreste als *Knorrien*, deren oft noch vorhandene Kohlenbedeckung die Oberflächenskulptur ebenfalls meist nicht mehr erkennen läßt, das fast vollständige Fehlen von Stigmarien, die in autochthonen Carbonbildungen mit Lepidophyten stets in körperlicher Erhaltung und mit allseitig ausstrahlenden Appendices vorkommen, ja hier sogar die häufigsten Fossilien sind, während dort, wo es sich um Allochthonie handelt, nur gelegentlich Stigmarienhauptkörper und oft nur epidermale Fetzen derselben mit einzelnen Narben zu finden sind. So meist im mitteldeutschen Culm.

Es sind überhaupt ganz allgemein Reste von solchen Organen, die unterirdisch lebten, in zusammengeschwemmten Massen seltener; denn sie werden naturgemäß erst dann mittransportiert werden können, wenn sie an ihrer Ursprungsstelle ausgewaschen worden sind, während die oberirdischen Organe und die von diesen abgefallenen Teile das wesentlich dem Transport verfallende Material bilden müssen. Aus dieser Überlegung ergibt sich, wie hinfällig gelegentlich früher ausgesprochene Zweifel an der organischen Zusammengehörigkeit der Stigmarien mit den Lepidophytenstämmen sind, die sich auf das oft getrennte Vorkommen beider gründeten. Ja ein vermeintlicher Trumpf wie die in der älteren Literatur vorhandene Äußerung, die Stämme von Bäumen könnten doch nicht fossil in einem Revier vorkommen, wenn ihre unterirdischen Organe in einem sehr weit abliegenden Revier zu Hause sind, ist nur durch das Versehen möglich, bei jeder Ablagerung die Entscheidung zu versäumen, ob Allochthonie oder Autochthonie vorliegt. Überdies kann man in der unmittelbar hangenden Schicht eines Kohlenlagers im allgemeinen nicht die unterirdischen Organe zu den Pflanzenarten erwarten, die hier eingebettet sind, da sich die unterirdischen Teile zersetzt im Kohlenlager selbst befinden. Ist die Fragestellung einmal als richtig anerkannt, so wird man sich nicht mehr wundern, in geologisch ganz gleichaltrigen und floristisch gleich zusammengesetzten Ablagerungen bald massenhaft Stigmarien, bald wenige oder gar keine zu finden.

Auch Baumstümpfe kommen unter allochthonen Resten vor. Allein sie zeigen dann nicht die früher geschilderten Charaktere, insbesondere stehen sie nur gelegentlich einmal senkrecht zu den Schichtungsflächen.

Bei der Fülle des vorhandenen Holzes hatte ich z. B. in Kanada vielfach Gelegenheit, kaustobiolithische Ablagerungen zu finden, die

Digitized by Google

durch Driftung von Gehölzteilen entstanden sind. Man braucht nur einen durch waldreiches Gelände fließenden Strom in einem noch wenig kultivierten Gebiet streckenweise zu befahren, z. B. den Columbia River in Britisch-Columbien, um eine Vorstellung von der großen Menge von Baumstämmen zu gewinnen, die ständig, namentlich von Steilufern aus, bei ihrer Aufarbeitung durch den Fluß ins Wasser gelangen, um dann in Etappen gedriftet zu werden. So sind überall Mengen von Driftholz vorhanden, die man am Ufer, namentlich im Gebiet der Kordilleren, aber

Fig. 44. Humusablagerung aus Stranddrift. Bodensee-Ufer westlich Friedrichshafen. (Nach O. KIRCHNER.)

auch in Ost-Kanada an den Ufern der Flüsse und Seen angeschwemmt findet, zuweilen zu „Holzbergen" so angehäuft (Abbildungen bei POTONIÉ, Exkurs. durch Süd-Kanada 1909), daß gelegentlich, wie ich das am Illecilliwaet River östlich Revelstoke (B. C.) sah, das fließende Wasser auf einer Strecke vollkommen den Blicken entschwindet. Wenn verschwemmte Baumstämme mit schwerem, vielleicht noch mit umklammerten Steinen belastetem Wurzelwerk in tiefere Wasser gelangen, so sinken sie mit dem schwereren Teil unter und weisen schräg aufwärts strebend die Richtung des fließenden Wassers an. Solche „Lanzen" (snags), die bei hohem Wasserstande ganz bedeckt sein und dann der Schiffahrt gefährlich werden können, wie das aus älterer Zeit u. a. vom Mississippi

Digitized by Google

her bekannt ist, waren im Upper Arrow Lake (einer breiteren Stelle des Columbia River) bei Arrowhead in großer Zahl aus dem Wasser ragend zu sehen.

Zur Erzeugung und Erhaltung von Humuslagern durch solches Driftmaterial sind aber die Transportwege und die Ablagerungsstellen zu bewegt. Es wird gewöhnlich alles mit der Zeit vollständig zersetzt. Nur gelegentlich finden hinreichend ständige und mächtigere Anhäufungen an ruhigeren Stellen statt, wo dann ein Humuslager entstehen kann. Dies ist z. B. der Fall am NO.-Ufer des Moyie Lake (B. C.). Hier ist ein in der angedeuteten Weise entstandener pulveriger Humus in ziemlich dicker Lage vorhanden. Er ist von schwarzer Farbe und durch das zerfallende Holz und die Rindenbestandteile etwa von der Beschaffenheit des Holzmulms auf alten Holzhöfen. Als ich dort war, wurde das weit aufs Land geworfene Driftholz gerade in mächtigen Haufen verbrannt, um die ebene Landfläche als Weide zu gewinnen. Außer Holz kommen hier und sonst — an Volumen freilich untergeordnet — auch gedriftete Blätter und Sprosse, besonders von Wasserpflanzen wie *Nymphaeaceen*, *Potamogeten*, Früchte, Samen u. dergl. hinzu.

Fig. 44 veranschaulicht eine Häckselstranddrift vom Bodenseeufer, die dort an einigen Stellen bis $^1/_2$ m und etwas mehr mächtige Humuslager gebildet hat. Auch diese habe ich besucht.

Solche allochthonen, an Ausdehnung nur geringfügigen Ablagerungen treten zwar den autochthonen Humusbildungen gegenüber so gut wie ganz zurück, aber sie müssen gelegentlich doch auch fossil vorkommen. Nur muß man, um Sonderfälle als hierher gehörig zu erweisen, auch hinreichende Merkmale anzugeben imstande sein. So kann man bei fossilen Stämmen in Sandsteinen dieselbe Schrägstellung wie bei den „Lanzen" gelegentlich dort beobachten, wo die Allochthonie der vorhandenen Pflanzenreste auch ohnedies nicht zweifelhaft ist. Schon LYELL bildet in seiner Geologie eine solche „Lanze" aus dem produktiven Carbon ab.

Bei einem Transport über Meer wird eine Anreicherung von organischem Materiale auf dem Boden des Meeres nicht beobachtet. Die MOHRsche Tangtheorie geht u. a. davon aus, daß die großen losgerissenen Tangmassen, die über das Meer geführt werden (man denke an das *Sargasso*-Meer[1]) im Atlantischen Ozean), schließlich untersinken, und daß diese Massen, auf dem Boden des Meeres in Tausenden und aber Tausenden von Jahren sich anhäufend, Lager bilden sollen, die endlich Kohlenlager würden. Dies ist aber eine bloße, durch die Erfahrung nicht bestätigte Annahme; denn obwohl Dretschungen von

[1]) Neuerdings hat STEVENSON mit Bezug auf unser Problem Beobachtungen im *Sargasso*-Meer gemacht, die ebenfalls zu einer Ablehnung der MOHRschen Anschauungen führten.

Digitized by Google

AGASSIZ bewiesen haben, daß eine Menge Blätter, Hölzer und Früchte sich am Meeresgrunde finden können in einer Entfernung von mehr als 1000 km von dem nächsten Lande, so sind doch im Meere ordentliche

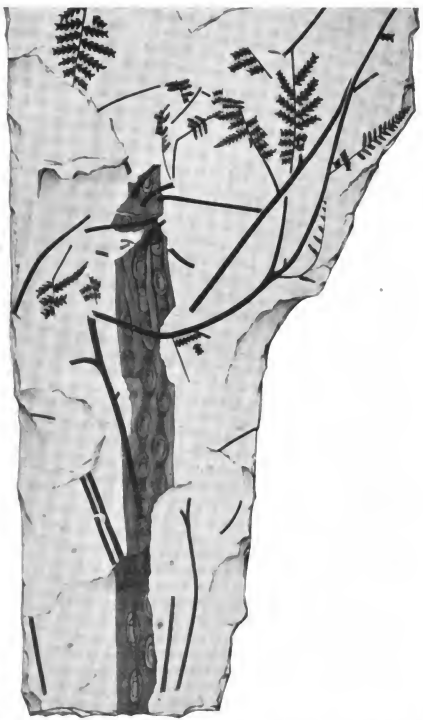


Fig. 45. Farnstamm mit dazu gehörigen, z. T. noch ansitzenden Wedelteilen *(Pecopteris)* in ca. $^1/_{14}$ der natürl. Größe. (Nach ZEILLER.)

Humus- oder reine Sapropelbildungen auf dem Grunde nicht beobachtet worden. Das ist auch leicht erklärlich, da im Meere eine unablässige Bewegung stattfindet. Es ist steter, wenn auch in den Tiefen sehr lang-

Digitized by Google

samer Fluß vorhanden, der ständig Sauerstoff auch in die größten Tiefen des Meeres führt, so daß wesentlich nur ein Verwesungsprozeß möglich ist, d. h. eine Zersetzung nach der Richtung, daß nur Wasser, Kohlendioxyd usw. entstehen, aber keine wesentlichen festen, kohlenstoffhaltigen Produkte zurückbleiben können. Nur wenn Pflanzenteile rechtzeitig unter ruhige Wassermassen und damit unter möglichsten Luftabschluß geraten, was vergleichsweise selten vorkommt, können Humus- oder Sapropellager entstehen. Im Meere kommt erschwerend hinzu, daß beim Durchsinken großer Wassersäulen — bevor das Material auf den Boden gelangt — eine besonders schnelle Zersetzung stattfindet.

Das Gros der fossilen Humuslager kann auf diesem Wege nicht entstanden sein, da diese ganz überwiegend deutlich die Merkmale der Autochthonie zeigen.

Es ist durchaus unzureichend, aus der Tatsache, daß in den Mitteln zwischen den Kohlenlagern allochthone Pflanzenreste vorkommen, zu schließen, daß nun auch die Kohlenlager selbst allochthon sein müßten. Das tut z. B. FAYOL mit dem von ihm sehr beachtenswert untersuchten Revier von Commentry, da er die Sprache der fossilen Pflanzenreste nicht zu lesen verstand. Erstens sprechen die schön erhaltenen, zahlreichen Farnwedel gegen eine Verschwemmung derselben. Bei ihrer für Fossilien besonders vollkommen erhaltenen Größe können sie auf keinen Fall einen irgendwie nennenswerten Transport erlitten haben. Man vergl. z. B. den Rest einer *Pecopteris* bei R. ZEILLER (1888) und überhaupt die Abbildungen in dem genannten Werk. Ein ganzer (großer) Farnbaum von der relativ vollständigen Erhaltung und mit noch ansitzendem Wedel, wie ihn Fig. 45 zeigt, kann nicht gedriftet sein. Dabei ist noch zu berücksichtigen, daß so große Fossilien gar nicht vollständig das Bild wiedergeben, wie vollkommen der Rest erhalten war, da eine vollständige Präparation aus dem Gestein unmöglich und deshalb ein weitgehender Verlust in Rechnung zu ziehen ist. Ich selbst habe übrigens an Ort und Stelle nicht größere Mengen fossilen Häcksels gesehen als sonst üblich in Verbindung mit rezenten und fossilen autochthonen (Carbon-)Lagern. Zweitens kommen im Revier von Commentry nicht selten Stigmarien in situ vor. Das habe ich selbst durch die Auffindung autochthoner Stigmarien konstatiert, die übrigens auch RENAULT (1890) von dort abbildet. Die eine Figur (unsere Fig. 46) stellt sogar eine solche noch in 6 m Breite erhalten dar mit horizontal auslaufenden Zweigen, denen die Appendices in großen Strecken und an vielen Stellen noch dicht und zwar durchaus regelrecht — eben wie bei autochthonen Stigmarien ausstrahlend — ansitzen. Will man hier durchaus bei der Allochthonie verharren, so bliebe nichts übrig als anzunehmen, daß der feine Schlamm, der sich zwischen den *Stigmaria*-Zweigen und den Appendices befindet, zusammen mit der Stigmarie transportiert worden

Digitized by Google

sei, was recht unwahrscheinlich ist, da autochthone Stigmarien dort zu häufig sind, als daß es sich um eine solche Ausnahmeerscheinung handeln könnte. Es ist noch hinzuzufügen, daß nach RENAULT an dem Stück, das an Ort und Stelle gezeichnet werden mußte, die *Stigmaria*-Zweige noch weiter gedrungen sind aber nicht verfolgt werden konnten. Dieses ganze mächtige Fossil mitsamt dem Boden, in dem es zu seinen Lebzeiten wuchs, müßte also bei Annahme der Allochthonie transportiert worden sein.

Fig. 46. *Stigmaria* in ca. $^1/_{50}$ der natürl. Größe. (Nach RENAULT.)

Bei der Annahme, die Commentry-Pflanzen seien von den Bergen heruntergeschwemmt worden, dürfte man bei ihnen ein Abweichen von der der gewöhnlichen gleichaltrigen Carbonpflanzen erwarten; sie unterscheiden sich aber in Wahrheit nicht von denen anderer Carbonmoore.

FAYOL hat geschickt nachgewiesen, daß die Kohlenlager von Commentry in einem Delta entstanden sind; aber gerade Deltagelände sind naturgemäß auch heute bevorzugte Örtlichkeiten für Moorbildungen, wie u. a. das Rheindelta (Holland) und das Memeldelta. STEVENSON hat neuerdings das Commentryer Becken benutzt und sich durchaus für autochtone Entstehung der dortigen Kohlen ausgesprochen.

Digitized by Google

Sekundär-allochthone Kohlen

Soweit im vorausgehenden von Allochthonie die Rede war, handelte es sich um primäre Allochthonie. Nun noch ein Wort über sekundäre Allochthonie (vergl. p. 18).

Fig. 47. Autochthone Braunkohle eines Tagebaues bei Groß-Räschen in der Niederlausitz (Senftenberger Revier). Zu beachten ist die Homogenität der Kohle im Stoß und die Großstückigkeit des durch die Haue gelösten Materiales.

Wie in Torfmooren Wasserströme gewisse Teile aufarbeiten und als Schlämm- oder Bröckeltorf wieder absetzen können, so ist auch gelegentlich in Braunkohlen eine Bröckelkohlenbildung zu beobachten und kommt gewiß auch in der Steinkohlenformation vor. Unter Umständen zerfällt diese Kohle beim Anbruch durch die Haue sofort in die

Digitized by Google

einzelnen Brocken und rieselt herab. Das ist die Feinkohle und Rieselkohle der niederrheinischen Braunkohlenbergleute.

Die autochthone und gewiß auch die primär allochthone Kohle ist hingegen eine im ganzen homogen struierte festere Kohle. Wenn sie von besonders feinen, zahlreichen Klüften durchsetzt wird — die gelegentlich mit anorganischer Mineralsubstanz, z. B. mit Kalkspat erfüllt sein können —, kann sie ebenfalls „Rieselkohle" sein; aber die sich sofort voneinander trennenden einzelnen Stücke sind natürlich anstehend, d. h. im Stoß gesehen, wie das sauberste und exakteste Mosaik aneinander-

Fig. 48. Sekundär-allochthone Braunkohle, im Stoß gesehen. Unten das pulver- bis krümelförmig erscheinende, gelöste Material. Grube Emma bei Streckau (Zeitz-Weißenfelser Revier).

gefügt und weisen dadurch ohne weiteres darauf hin, daß es sich ursprünglich, vor der Zerklüftung, um eine typische „Knabbenkohle", d. h. in großen Stücken (daher auch Stückkohle) gewinnfähige Kohle gehandelt hat. Solche Kohle, die immerhin, da hier die Klüfte nicht gar zu eng aufeinander folgen, noch in ziemlich großen Stücken nach dem Anhauen herabfällt, gibt es im alttertiären Revier der Provinz Sachsen, während bei der autochthonen Kohle des miocänen Senftenberger Reviers die feine Zerklüftung fehlt (Fig. 47).

Gänzlich verschieden davon ist im Anstehenden die sekundär-allochthone Braunkohle, die unsere Fig. 48 — aufgenommen in der Grube

Digitized by Google

Emma bei Streckau in der Provinz Sachsen veranschaulicht. Hier sind die einzelnen Stücke bis zur Pulverform weit lockerer gefügt. Die größeren liegen in einer Krümel- und Staubkohle eingelagert. Beim Anhauen lösen sich die einzelnen Kohlenpartikel sofort voneinander und bilden daher mehr krümelige bis staubförmige Schuttkegel. Nur selten findet man freilich in solcher sekundär-allochthonen Kohle Stücke von Geröllform, meist dagegen festere Bestandteile, wie Holz, und zwar sind Geröllstücke deshalb nur gelegentlich zu finden, weil die Kohle beim Transport durch auch nur geringe mechanische Angriffe leicht in kleinere Stücke zerfällt, die dann zunächst wieder scharfkantig sind. Darauf weist ja schon das stete Vorkommen auch von Staub- und Krümelkohle in solchen gedrifteten Braunkohlenlagern hin. Je länger die Kohle einem Transport ausgesetzt war, bezw. je stärker die mechanischen Insulte waren, die sie dabei erlitten hat, um so stärker ist sie dabei zerkleinert worden. So finden wir in einzelnen Gruben eine sehr feine, fast durchgängig mehr krümelige und staubige Kohle, wie z. B. in dem Tagebau von Voß bei Deuben. Freilich kann man nicht unbedingt aus dem Vorhandensein solcher stärker zerkleinerten Kohle auf einen weiteren Transport schließen. Es kann sich vielmehr gelegentlich auch um eine nahe beieinander erfolgte Separation des feineren Materials von dem gröberen handeln, was dann natürlich nur auf ruhigere Stellen etwa am Rande des bewegenden Wassers hindeutet (s. jedoch Zusatz S. 143).

Bei weiten und immer wieder aufgenommenen Transporten wird schließlich die allmählich vollständig zerriebene Braunkohle ganz verteilt. Sie bildet keine Lager mehr, sondern nur hier und da mehr oder minder deutliche Anhäufungen; aber das mechanisch widerstandsfähige Braunkohlenholz bleibt noch lange in Stücken erhalten, wird abgerollt und in diesem Zustande öfter im Diluvium Norddeutschlands (Fig. 49) gefunden.

Fein von der Natur ausgeschlämmte oder vom Menschen pulverisierte erdige Braunkohle ist namentlich früher wie Ocker unter dem Namen Umbra (besonders beliebt war die „Cölnische Umbra", auch „Cölnerbraun", auch von der Casseler Braunkohle „Casselerbraun") als Farbe verwendet worden, besonders wenn sie Eisenoxyd enthielt. Auch die Braunkohle von „erdiger" Form — das ist bei uns ihr gewöhnlicher Zustand („gemeine Braunkohle") — ergab in künstlich geschlämmtem oder pulverisiertem Zustande „Umbra".

Zur Beurteilung, ob man sekundär-allochthone Braunkohle vor sich hat, muß ein frischer unverwitterter Stoß zur Beobachtung gelangen, da auch verwitternde autochthone Kohle leicht zu Rieselkohle zerfällt.

Je älter eine sekundär-allochthone Kohle ist, um so mehr muß sich die angegebene Struktur wieder verwischen und auslöschen, da bei der weiteren Selbstzersetzung eine homogene Beschaffenheit des Kaustobioliths erzielt wird.

Digitized by Google

Gedriftete Kaustobiolithe sind natürlich hervorragend prädestiniert, anorganisches Gestein aufzunehmen, das vom Wasser mitgeführt werden kann, ja die Driftung von anorganischem Gestein kann überwiegen. Einen solchen Fall habe ich seinerzeit aus dem niederrheinischen Braunkohlenrevier westlich der Ville bekannt gemacht, wo sich in sekundär-allochthoner Kohle Tonflöze eingelagert finden, mit einzelnen gleichmäßig in dem Tonflöz verteilten Kohlenbrocken (Fig. 50). Dementsprechend finden sich auch in den Zwischenmitteln der Braunkohlenlager der südlichen Provinz Sachsen und von Anhalt gelegentlich einzelne Braunkohlenstückchen. Der Ton im Liegenden der sekundär-allochthonen Kohle des Tagebaues der Grube Emma z. B. enthält solche Braunkohlenbrocken.

Es ist ferner begreiflich, daß es gerade die sekundär-allochthone Braunkohle ist, die Trockenrisse aufweist, denn die

Fig. 49. Braunkohlenholz-(Lignit-)Gerölle aus dem Diluvium Berlins. Beim Bau der Untergrundbahn gefunden. 1/3 der natürl. Größe.

Digitized by Google

autochthonen Kohlen sind in ihrer Entstehung mit denjenigen unserer Moore zu vergleichen, die unter steter Wasserbedeckung entstanden sind. Wenn auch hier einmal eine Trockenperiode eintritt, so sinken die gebildeten Humusmassen vermöge ihres sehr großen Wassergehalts in sich zusammen. Es bedarf schon einer sehr starken Entwässerung, um nach dem Zusammensinken noch Trockenrisse zu erzeugen. Anders ist es dagegen bei umgelagertem Humus, der besonders bei Hochwasser transportiert, dadurch leicht auf Gebiete gelangt, die gewöhnlich einen geringeren Wasserstand aufweisen. So kenne ich Trockenrisse bis jetzt

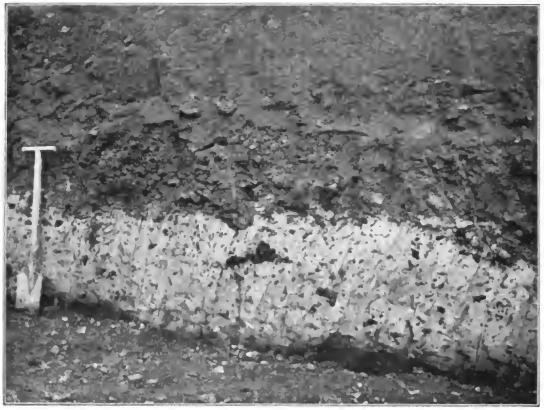


Fig. 50. a = Tonflöz mit sekundär-allochthonen Braunkohlenbrocken, darüber b sekundär-allochthone Rieselkohle. Grube Liblar bei Köln.

nur in Lagern aus sekundär-allochthoner Kohle, wie es unsere Figur in dem Abschnitt über die fossilen Liptobiolithe veranschaulicht.

Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß gewisse Merkmale, die sonst für Autochthonie sprechen, auch in allochthonen Kohlen vorkommen können, denn es ist bei der Untersuchung eines Spezialfalles nicht zu vergessen, daß auch Böden aus transportiertem Material, gleichgültig, ob es kaustobiolithischer oder anorganisch-mineralischer Natur ist, in Ruhezeiten eine autochthone Vegetation — Bäume, Röhrichte und dergl. — tragen, und daß diese von allochthonem Kaustobiolith nachträglich wieder überdeckt werden können. Als Beispiel sei angeführt, daß — wie mir mein Kollege Herr Landesgeologe Prof. Dr. Ernst Zimmermann schreibt —

Digitized by Google

„im Culm bei Landeshut zwischen den mehrere Meter mächtigen Lagern von verkittetem grobem Kies und Konglomerat (also allochthonen Schichten) in mehrfacher Wechsellagerung (in einem Steinbruch 3 oder 4mal) Tonlagen sich finden, die z. T. dünnschieferig, d. h. auch allochthon, z. T. aber ganz von *Stigmarien* nach allen Richtungen durchsetzt sind, also die Grundlage eines autochthonen Kohlenlagers hätten abgeben können. Kohlenlager sind aber dort nur ausnahmsweise in einigen Zentimetern Mächtigkeit erhalten". Übrigens kann man natürlich beinahe in allen Revieren des produktiven Carbons dasselbe beobachten. In allen Fällen sprechen also autochthone Waldreste in Form aufrechter Baumstümpfe und Röhrichtböden nicht für die Autochthonie des diese einbettenden Kaustobioliths. Diese Selbstverständlichkeit muß vorgebracht werden, weil mir u. a. tatsächlich in der Literatur der schiefe Einwand gemacht worden ist, die sekundär-allochthone Braunkohle des Cölner Reviers müsse autochthon sein, weil gelegentlich Bäume darauf gewachsen seien! In logischem Verfolg solcher Ansichten müßte dann auch z. B. der Sand Norddeutschlands autochthon sein, weil Kiefern auf ihm stehen.

Bei dünnbreiigem, fließendem Torf, der vielfach vorkommt, kann ebenfalls eine Verlagerung stattfinden („Moorausbrüche").

Der Tropentorf aus Sumatra, von dem noch die Rede sein wird, ist flüssig-breiig. Bei seiner hervorragenden Beweglichkeit müßte er leicht transportiert und umgelagert werden können und wir dürften dann wohl das Gleiche vielfach von der Steinkohle annehmen, als sie sich noch im Torfzustande befand. Hochwasser und Wasserrisse werden solchen Torf besonders leicht verlagern und gelegentlich größere sekundär-allochthone Ansammlungen oder Schmitze in der Nähe der Moore erzeugt haben. (Näheres über sekundär-allochthone Kaustobiolithe vergl. im Abschnitt über die Liptobiolithe).

Zusatz. Es muß zu den Auseinandersetzungen über Rieselkohle usw. im Vorigen jedoch bemerkt werden, daß nach den Untersuchungen von RAEFLER (1911) die Verhältnisse etwas anders liegen. RAEFLER weist darauf hin, daß die Beschaffenheit der Kohle — ob stückige oder Rieselkohle — auch zum großen Teil von der Art der Deckschichten abhängt. Bei tonigen, also undurchlässigen Deckschichten wird die Kohle lange ihre kompaktere Beschaffenheit bewahren, bei durchlässigem, sandig-kiesigem Deckgebirge jedoch tritt eine Zermürbung der Kohle durch die zutretenden Atmosphärilien usw. ein, so daß dann „Rieselkohle" vorgetäuscht wird, obwohl autochthone Kohle vorliegt. Dies und noch andere Umstände machen die Verwendung der POTONIÉschen Kriterien oft schwierig, und man muß jedenfalls die Spezialverhältnisse an den einzelnen Punkten genau erwägen. STEVENSON (1917)

Digitized by Google

erklärt in einer Auseinandersetzung über „Formkohle“ (Rieselkohle) schließlich, daß die Betrachtung der Feinkohle als umgelagerte Kohle auf einer Generalisierung von Spezialverhältnissen einzelner Vorkommen beruhen dürfte. In diesem Rahmen erscheint die richtige Erkennung sekundär-allochthoner Kohle, selbst erdiger Braunkohle, oft ziemlich problematisch.

Gerölle und konkretionäre Bildungen in Kohlenlagern

Der Erklärung der Steinkohlenlager als fossile Moore scheint nun allerdings die Tatsache zu widersprechen, daß sich in diesen Lagern zuweilen Gerölle finden. Es seien bei der Behandlung dieser Frage auch die anderen fremdartigen Bildungen, die in Kohlenlagern vorkommen, berücksichtigt. Namentlich aus Steinkohlen sind die folgenden zu erwähnen:

1. Gerölle, und zwar
   a) aus anorganischen Gesteinen z. B. aus Quarz oder Quarzit, Sandstein, Granit, Gneis, Glimmerschiefer.
   b) aus Kaustobiolith, z. B. aus Kohle.
2. Konkretionäre Bildungen, d. h. aus Minerallösungen niedergeschlagenes Mineral, das von einer Stelle ersten Niederschlags ausgehend von da aus gern kugelige bis knollige Massen erzeugte, das sind die eigentlichen Konkretionen, die
   a) Inkrustate, von denen diejenigen mit
   b) strukturbietenden Pflanzen für unseren Fall nicht zu trennen sind.

1a. Gerölle anorganischer Gesteine.

Wie sind die in den Steinkohlenlagern gelegentlich nur vereinzelt, seltener in Ansammlungen vorkommenden Geschiebe von Quarzit, Granit u. dergl. in diese Lager hineingeraten?

Auch darauf gibt uns der Vergleich mit gegenwärtigen Vorkommnissen Antwort. Viele große Flachmoore werden von Wasserläufen durchflossen, die bald Gerölle und Sedimente mitbringen, bald wesentlich pflanzlichen Detritus, gelegentlich sogar ganze ausgerissene Bäume. Das ist eine Erscheinung, die man in Urwaldgegenden gut beobachten kann. Hier bei uns, wo der Schleier der Kultur alles dicht verhängt, ist die Natur freilich oft schwierig zu rekonstruieren. Das Wurzelwerk hält zunächst einen Teil der Bodenbestandteile noch fest, die um so eher ausgespült werden, je feiner sie sind. Größere Steine aber werden oft so umklammert, daß sie weithin mitgenommen werden. Kommt die Flößung solcher Bäume endlich und zwar in dem Teil des Wasserlaufs

Digitized by Google

zur Ruhe, der in dem Moore liegt, so bleiben die Gerölle in denselben dauernd im Humuslager stecken. In dieser Weise hat schon der eng-

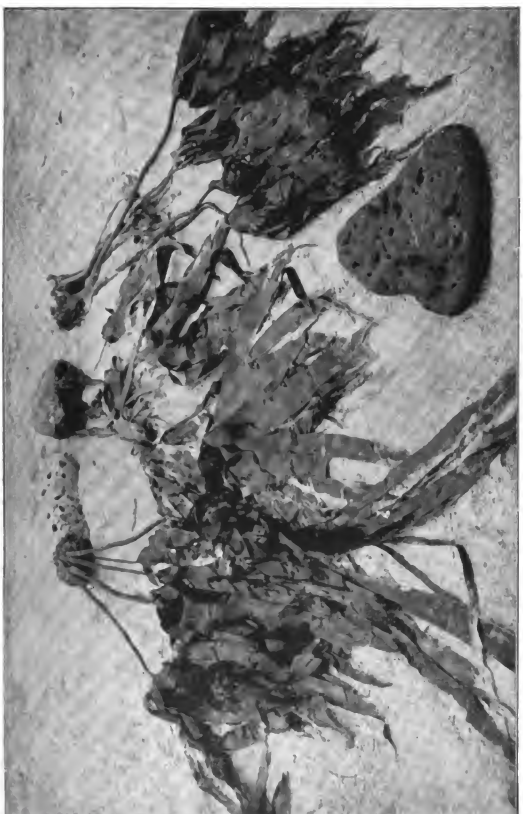


Fig. 51. *Laminarien* (auf dem Strand von Helgoland ausgebreitet) ansitzend auf Geschieben (das linke Geschiebe mit Bohrmuschellöchern), die dem Meeresgrunde entstammen. Rechts unten ein Stück Sapropelit (Sapropel-„Töck") mit Bohrmuschellöchern.

lische Geologe PHILIPPS (1855) die Herkunft der Fremdlinge in den Kohlen erklärt. Daß die größeren fossilen Moore ebenso von Wasser-

Digitized by Google

läufen durchkreuzt werden konnten wie die rezenten, dafür sind ebenfalls Tatsachen vorhanden in den „Flözverdrückungen", jenen zuweilen vorkommenden Teilen der Kohlenlager, deren Mächtigkeit schnell geringer wird, gelegentlich bis zum Verschwinden der Kohle, so daß dann der fehlende Teil von anorganischem Sediment eingenommen wird. Wie ERNST KOHLER (1903) gezeigt hat, entsprechen solche Verdrückungen im Saarrevier in einer Grundrißkarte dem Verlauf eines Flußsystems. Vergl. auch das, was RICHARD ALTHANS (1892) über die „Riegelbildungen" im Waldenburger Steinkohlengebirge sagt. Er möchte ihre Entstehung der mechanischen Kraft des Wassers zuschreiben. „Die langen gangartigen Gebilde wären dann als Furchen anzusehen, die durch heftig strömendes Wasser in das Kohlengebirge eingerissen wurden, während die anderen, schachtartig die Schichten durchsetzenden wahrscheinlich als ausgefüllte Strudellöcher zu betrachten sind." Auch z. B. in England sind solche Flußsysteme beobachtet. Für uns würden freilich nur diejenigen Wasserrisse usw. in Frage kommen, die erweislich zur Zeit der Entstehung der Kohlenlager vorhanden waren, nicht diejenigen, die geologisch jüngeren Zeiten angehören.

Die Gerölle sind sehr verschieden groß. Abgesehen davon, daß auch feines Material noch in das Kaustobiolithlager gelangen kann, sind Gerölle von wenigen Gramm bis über 100 Kilogramm Gewicht bekannt. Im Karolinenflöz der Hohenlohegrube bei Kattowitz in Oberschlesien fand sich ein Geröll von 55 Kilogramm (nach RÖMER 1864 p. 615). Aus der Veine-du-Nord bei Aniche (Nord) in Frankreich gibt CH. BARROIS (1907 p. 329) gar solche von 120 Kilogramm Gewicht an. Wie in den Steinkohlenlagern sind auch in den rezenten Flachmoortorflagern Geschiebe der genannten Art nur selten, aber der Transport derselben durch Bäume ist hier längst bekannt. Er vermag gewaltige Strecken zu überwinden. Fand man doch auf Koralleninseln des Stillen Ozeans in dieser Weise transportierte basaltische Felsstücke!

Gelegentlich mag auch wohl die Vermittlung beim Transport eine andere gewesen sein. Man muß eben daran erinnern, daß Geschiebe auch durch Meerestange, ja sogar durch kleinere Algen transportiert werden können (Fig. 51). Tange wachsen nicht auf losem Grunde, sondern nur auf festem Gestein. Sind es Geschiebe, die den Boden bilden, so können die Tange, z. B. Laminarien, vermöge ihres geringen spezifischen Gewichts emporstrebend und -wachsend, immer größere Lasten tragen und schließlich den Stein, auf dem sie festsitzen, emporziehen. So werden sie die Veranlassung, daß der Stein, durch Wellen und Fluten bewegt, an den Strand geworfen wird. Dieser Gesteinstransport aus der Tiefe durch Vermittlung von Tangen ist besonders auf Helgoland zu beobachten, wo eine Unzahl von Geschieben umherliegen, denen die Algen noch anhängen. Würde am Strande ein Moor liegen, so würden die Gerölle

Digitized by Google

hineingeschwemmt werden können. In der Tat sind es gerade die paralischen Steinkohlenreviere, die vorwiegend Geschiebe aufweisen. Ihre durchschnittliche Größe ist derartig, daß ein Transport durch Tange wohl angenommen werden könnte. Die wenn auch nur in wenigen Fällen beobachteten sehr großen Blöcke wird man freilich nicht geneigt sein, in der letzt angegebenen Weise transportiert zu denken.

Übrigens kann auch in Süßwässern eine Bewegung von Geschieben in gleicher Weise stattfinden. Hier vermitteln allerdings nicht Tange, sondern z. B. Fadenalgen den Transport, die am Grunde des Wassers auf Kieseln und Molluskenschalen wachsend diese schließlich emporzuheben und der Wasserbewegung preiszugeben vermögen.

Die Gerölle liegen meist zu mehreren beisammen. Das entspricht der Tatsache, daß ein Baumwurzelgeflecht meist mehrere derselben zu transportieren pflegt, oder daß die von Tangen an den Strand geworfenen Geschiebe sich naturgemäß ebenfalls zusammenfinden. Angegeben findet sich das gelegentliche Vorkommen von Geröllen in den Steinkohlenlagern Nordamerikas und in Europa: in England, Nord-Frankreich, im Ruhrrevier, im oberschlesisch-polnisch-mährischen Revier, wo sie schon länger bekannt sind.

D. STUR vermutete, die Gerölle (die er Steinrundmassen nennt) möchten Pseudomorphosen nach Tonsphärosideriten (die er Torfsphärosiderite und Torfrundmassen nennt) sein. Diese unbegreifliche Anschauung begründet er u. a. mit dem Hinweis (1865 p. 641—642) auf das Vorkommen von Kohle in den Blöcken. Auf den Klüften sei gelegentlich allenthalben Kohle in feiner Verteilung abgelagert, oder die Kohle färbe ganze Zonen des Gesteins schwarz. Er sagt: „Die Kohle kann ursprünglich in den Rundmassen nicht enthalten gewesen sein, wie tägliche Erfahrung lehrt und es die Tatsache klar macht, daß die Kohle eine äußerliche Zone der Steinrundmassen färbt. — Auch konnte zur Zeit der vermeintlichen Einlagerung dieser „Gerölle" respektive Steinrundmassen in das Flöz die Kohle in die frisch angelangten Fremdlinge nicht eindringen, da damals noch keine Steinkohle, sondern vertorfte organische Substanz es war, welche diese Gerölle in sich eventuell aufnahm."

Diese von STUR für seine Meinung ausgenutzte Tatsache kann aber denjenigen, der die minerallösende Kraft der Humuswässer kennt, nicht überraschen. Namentlich feldspatige Gesteine werden leicht kaolinisiert und in der Tat gibt STUR auf Grund einer Untersuchung von FOULLON (p. 625) an, daß „der Feldspat (eines Gerölls) bereits sehr stark verändert, kaolinisiert" sei. Das Vorkommen von schwarzen Zonen spricht geradezu für die allmählich stattgehabte Einwirkung der Humusstoffe auf das Geröll. Kann hierfür etwas deutlicher reden als die Beschreibung eines Gerölls bei STUR, das eine 2 cm dicke Zone aufweist, „die mit der Oberfläche parallel verlaufend, bis kohlenschwarz und weit dunkler gefärbt

Digitized by Google

erscheint, als der innere Kern der Gesteinsmasse"? Hätte STUR übrigens schon damals gewußt, daß alle möglichen Gesteine vorkommen, deren ursprüngliche Lagerstätten zum Teil sicher bekannt sind, so hätte er wohl seine Ansicht selbst aufgegeben.

1b. Aus Kohle bestehende Gerölle.

Gelegentlich findet man — in derselben Weise wie von der Brandung modellierte Torfgerölle am Strande der Ost-, Nordsee usw., herstammend von Torflagern, die unter das Wasser geraten sind oder entsprechend den Lignitgeröllen (p. 141) — auch Kohlengerölle z. B. in den Schichten zwischen den Steinkohlenlagern. Besonders häufig sind solche Kohlengeschiebe von Cannelkohle u. dergl., weil diese durch ihre festere Beschaffenheit besser zur Geröllbildung geeignet sind als die leicht brüchigen Humuskohlen. So lange freilich noch der Torfzustand vorhanden ist, ist durch die Verfilzung auch hier die Möglichkeit gegeben, Gerölle zu bilden, wofür unsere heutigen Torfgerölle treffliche Beweisstücke sind. Auch rezente Sapropelitgerölle sind bekannt, mir selbst ebenfalls vom Nord- und Ostseestrande. Auf der Figur 51 ist ein solches Geröll rechts unten abgebildet. Es ist nachträglich von Bohrmuscheln durchlöchert worden, was auch bei dem Moortorf vorkommt, der unter den Meeresspiegel geraten ist. Diese Tatsache sollte bei der Beurteilung fossiler Vorkommnisse zur Vorsicht mahnen; denn die Bohrmuscheln sind marin, der betreffende Sapropelit ist aber eine Süßwasser- und der Moortorf eine Landbildung. Die ellipsoidischen bis kugeligen „Mugelkohlen" (Kugelkohlen) aus der jurassischen Kohle von Fünfkirchen in Ungarn sind vielleicht fossile Torfgerölle (vergl. hierzu GOTHAN 1910) und nicht, wie man hier und da meinte, kugelige Absonderungen, die sich in diesem Falle in viel mehr Kohlenablagerungen finden müßten; indes ist ihre Bildungsweise noch keineswegs geklärt. Über sphäroidale Kohlenbildungen mit konzentrischen Lagen findet sich eine Angabe bei GRAND'EURY (1882 p. 249 [153]), der sie für Absonderungen hält, da er aus der Umgebung einzelne besonders hervortretende Kohlenschnüre ohne jede Verschiebung in die Kugeln eintreten sah. U. a. besitzt der „Anthrazit" von Charbonnier bei Brassac solche Kugeln. Die Sache bedarf also noch weiterer Untersuchung. Ich selbst habe in situ Kohlenkugeln nie gesehen. Wo wir sichere Absonderungserscheinungen in Steinkohlen kennen, sind sie mehr oder minder pyramidenförmig („Pyramidenkohle"), aber nicht großkugelig (vergl. hierzu auch vorn p. 97), und wo durch Einwirkung von Hitze durch Eruptivgesteine eine Veränderung stattgefunden hat, wie bei der Entstehung des natürlichen Koks, begegnen wir (wie beim künstlichen Koks) einer prismatischen Absonderung derart, daß die Prismen senkrecht zur Hitzequelle stehen (prismatischer Anthrazit, Stengel-, Stangenkohle).

Digitized by Google

Wo sich echte Kohlengerölle in Kohlenlagern selbst finden, ist zu erwägen, ob das betreffende Lager sekundär-allochthon sein könnte. In solchen Braunkohlenlagern habe ich nur selten diese Gebilde gefunden und dann nur aus festerem Material wie Holz bestehend, während die Kohle beim Transport leicht zerkleinert wird und dadurch eckig bleibt. Solche Gerölle sind natürlich erst entstanden, als der Kaustobiolith bereits „Kohle" war.

2. Inkrustate und Intuskrustate.

„Mineralische Substanzen schlagen sich ganz allgemein gern an Teilen nieder, die heterogene Bestandteile in einer homogenen Masse bilden" (Potonié, Lehrb. d. Pflanzenpaläont. 1899 p. 5). Man muß aber dabei unterscheiden, ob eine Inkrustation erfolgt, d. h. eine Umkrustung des heterogenen Objektes, oder ob eine Einlagerung von Mineralsubstanz stattfindet, wie z. B. in durchlässigen Pflanzenteilen. Hierbei entstehen echte Versteinerungen, strukturbietende Pflanzenfossilien, für die wir versucht haben den Namen Intuskrustate einzuführen, der aber anscheinend wenig Eingang gefunden hat.

Mineralwässer, die in Humuslager eindringen, ergeben im Zusammentreffen mit dem sich zersetzenden Humus vielfach chemische Umwandlungen der gelösten Mineralsubstanzen, so daß oft feste Mineralien bezw. Gesteine gebildet werden, die dann als bemerkenswerte Einlagerungen oft in Konkretionsform auftreten, so z. B. Spateisenstein, Toneisenstein, Schwefelkiesknollen usw., Kieselsäureniederschläge, Kalziumkarbonate, Kalzium-Magnesium-Karbonate (Dolomit) usw. Unter diesen sind diejenigen für uns am wichtigsten, die sich dadurch deutlich als echt versteinerte Teile von Humussteinkohlenlagern ergeben, daß sie beim Aufbrechen und besonders beim Anschleifen strukturell zum Teil überraschend gut erhaltene Landpflanzenreste zeigen. Diese meist knollenförmigen Bildungen, die aber auch mehr lagerförmig vorkommen können, bestehen vorwiegend aus Kalzium-, aber auch aus Eisensalzen, und zwar meist aus einem Gemenge von Kalzium-Magnesium-Karbonat und Spateisenstein. Wenn ersteres stark vertreten ist, bezeichnet man die Gebilde als Dolomitknollen. Sie kommen vor in Groß-Britannien als „calcareous nodules", „coal balls", von woher sie seit langem von Halifax und Oldham bekannt sind, bei uns im Mährisch-Ostrauer, im Ruhr- und im Aachener Gebiet, ferner nach Zalessky im Donetzbecken, kurz in Revieren, die „am Meeresstrande" gelegen haben, in paralischen Kohlenbezirken, niemals aber in kontinentalen. Die oft Geschiebe vortäuschenden Objekte sind, — wie gesagt — „intuskrustierte" Flözteile, die uns unter Umständen einen trefflichen Aufschluß über die Anatomie der Pflanzen der Humuslager geben. Zu Dünnschliffen verarbeitet und unter dem Mikroskop betrachtet geben sie das Bild einer

Digitized by Google

gleichzeitigen Inkohlung und Intuskrustation. Die für letztere nötige anorganisch-mineralische Substanz stammt aus dem Meerwasser. Diese Ansicht vertrat im Prinzip schon E. W. BINNEY (1841); vergl. sodann die Arbeiten über die Dolomitknollen von MENTZEL (1904), KUKUK (1909) sowie M. C. STOPES und D. M. S. WATSON (1907). Das Meerwasser enthält bekanntlich — abgesehen von den Nebenmeeren mit oft viel geringerem Salzgehalt — rund 3,5 % Salze, in denen sich alle Elemente finden, die u. a. zur Bildung des Dolomits notwendig sind, nämlich nach C. DITTMAR außer Spuren noch anderer Salze sowie außer NaCl (77,758 % aller Salze) und K_2SO_4 (2,465) nach chemischen Rechenoperationen des Genannten: $MgCl_2$ (10,878), $MgSO_4$ (4,737), $CaSO_4$ (3,6), $CaCO_3$ (0,345) und $MgBr_2$ (0,217).

E. S. W. SKEATS (1903) meint, daß vielleicht die bei der Zersetzung organischen Materials entstehende Kohlensäure das Magnesiumsulfat wohl zu kohlensaurer Magnesia umzusetzen vermöchte, und G. LINCK (1909) macht ausdrücklich auf das bei der Zersetzung der Organismen aus ihren Proteïnen entstehende Na_2CO_3 und $(NH_4)_2CO_3$ aufmerksam, Karbonate, die Umsetzungen mit den Ca- und Mg-Salzen des Meeres eingehen. Er hat auch in einer Lösung von $MgCl_2$, $MgSO_4$ und Ammoniumsesquikarbonat (Hirschhornsalz) [$(NH_4)_2CO_3 + 2\,NH_4CO_3$], der er $CaCl_2$ hinzufügte, einen Niederschlag erhalten, der fast genau die Zusammensetzung des Dolomits hatte.

In der Tat handelt es sich in den Steinkohlenlagern, die diese Knollen enthalten, um solche, die nach ihrer Bildung, und zwar als sie sich offenbar noch im Torfzustande befanden, an Meeresküsten durch Landsenkung bezw. durch Überschwemmung unter das Wasser gerieten; denn die unmittelbar hangenden Schichten der Dolomitknollen führenden Kohlenlager enthalten Reste von Meerestieren. So befinden sich im Ruhrrevier Dolomitknollen in zwei Kohlenlagern, nämlich (außer im Flöz Finefrau-Nebenbank der Magerkohlenpartie) vor allem im Flöz Katharina, dem hangendsten der Fettkohlenpartie, und zwar hier bis zu $^1/_2$ des Rauminhaltes des ganzen Kohlenlagers einnehmend (MENTZEL, 1904, p. 1167), während im Flöz Finefrau-Nebenbank die Knollen nur im obersten Teil des Lagers vorkommen (l. c. p. 1168). Über den Lagern befinden sich im Schieferton und zwar in einer Entfernung von etwa 0,5 m und mehr vom Lager-Hangenden entfernt, Meerestierreste.

Solche Lager entsprechen ganz unseren Torflagern, die an der Nord- und Ostsee sich gegenwärtig unter dem Wasserspiegel befinden und daher ebenfalls von Meeressedimenten bedeckt werden können. Als ein Beispiel für viele mag das von MEYN (1872 p. 26) angegebene Torflager an der NW.-Spitze der Hamburger Hallig erwähnt sein, das mit weit über 1 m mächtigem Klei bedeckt ist, der Schalen von *Cardium edule* führt. (Hinten mehr Beispiele.)

Digitized by Google

Durch Einwirkung von organischer Substanz auf Meerwasser können sich insbesondere Kalksalze abscheiden. Die in das Humuslager eindringende Salzwasserlösung wird daher, wenn die Bedingungen einen genügenden Wechsel desselben zulassen, eine mehr oder minder weitgehende Dolomitisierung ermöglichen und zwar wird diese — da Niederschläge Attraktionszentren bevorzugen — gern in der Form von Kügelchen (Oolithen), dann größeren Knollen geschehen, die schließlich auch miteinander verschmelzen können, so daß ganze Teile des Humuslagers echt versteinert („intuskrustiert") sind.

Die Erwähnung von Attraktionszentren veranlaßt mich, hier einen Gedanken näher auszuführen, den ich einmal zum Ausdruck gebracht habe, daß nämlich die Dolomitknollen aus Seebällen hervorgegangen sein könnten. Gehen wir dabei von den „Genistpaketen" aus. Diese kommen durch das Ineinanderverfilzen und -verstricken herabgeschwemmter Pflanzenteile zustande. Durch die dauernde Bewegung und die mechanischen Angriffe erhalten die bis storchnestgroßen oder noch größeren Pakete eine mehr oder minder kugelige bis walzige, geröllartige Form, wie man bei Hochwassern gewisser Ströme beobachten kann. Vom Meeresstrande und aus größeren Landseen sind solche Genistpakete in noch besserer Geröllform unter dem Namen Seebälle usw. bekannt. KUKUK bekämpft nun (1909 p. 1145) in Mißverständnis die Meinung, die Dolomitknollen könnten Seebälle sein, da die Knollen in situ entstanden sein müßten. Das ist nach dem Vorausgehenden auch meiner Meinung nach zweifellos richtig. Wenn aber ein Humuslager Seebälle enthält, so ist ihre ganze pflanzliche Struktur anders beschaffen als die einhüllende Umgebung. Dadurch können Seebälle Attraktionszentren werden und infolgedessen die Veranlassung zur Bildung von Dolomit- usw. Knollen gerade dort geben, wo sie liegen. Die Tatsache, daß die Pflanzenteile in den Dolomitknollen oft parallel zueinander liegen wie in Seebällen, würde diese Idee unterstützen, und es mögen wohl Seebälle in der Tat gelegentlich einmal Veranlassung zu Konkretionen gegeben haben. Jedenfalls wollte ich auf diese Möglichkeit aufmerksam gemacht haben.

Da dieser Vorgang der Dolomitisierung usw. zu einer sehr frühen Zeit stattgefunden haben muß, als der Torf noch stark wasserdurchtränkt war, so ist es begreiflich, daß nach dem Zusammensinken und bei nach und nach mit fortschreitender Inkohlung fester werdendem Humusgestein, die Knollen sich gegeneinander etwas verschieben, ihre Lage verändern konnten. Wo dies — etwa durch eine Nichtkontinuität von Pflanzenresten in nebeneinanderliegenden Knollen — beobachtet werden kann, darf daher nicht auf eine Herzuführung der Knollen als Geschiebe geschlossen werden, wie dies JAMES LOMAX tun möchte. Da müßte man ja auch die Teile der nachträglich zersprungenen Geschiebe (vergl.

Digitized by Google

BARROIS 1907 p. 329, KUKUK 1909), wo die ersteren sich gegenseitig etwas verschoben haben, als stückweise transportiert ansehen, wobei es nur höchst wunderbar wäre, daß sie sich so wieder zusammengefunden hätten.

Wo die Einwirkung von immer neuem Meerwasser lange genug statthaben konnte, vermochte auch einmal das Humuslager in seiner ganzen Mächtigkeit vollständig zu versteinern, speziell zu dolomitisieren. Einen solchen Fall hat AUBREY STRAHAN (1901) bekannt gemacht, der freilich an Allochthonie glaubt. Er beschreibt ein Kohlenlager des Parkgate-Reviers in England, das allmählich in ein Dolomitlager übergeht, indem sich zunächst Lager kleiner Dolomitkugeln einschieben, bis schließlich das ganze Kohlenlager durch eine Dolomitschicht ersetzt ist.

Uber den mehr oder minder dolomitisierten Steinkohlenlagern, so z. B. in den sie bedeckenden Tonschiefern und auch sonst, finden sich oft Sphärosiderite, d. h. Toneisensteinknollen (Dachsphärosiderite KUKUK, roof-nodules der Engländer). Sie sind mit ähnlichen Eisenbildungen in unseren heutigen Flachmoortorflagern zu vergleichen. Besonders interessiert uns das Zusammenauftreten mit den dolomitisierten Kohlenlagern. In diesen Fällen pflegen die Sphärosiderit-Konkretionen als heterogene Bestandteile, von denen die Konkretionen ausgegangen sind, Reste von Meerestieren (Molluskenschalen u. dergl.) zu enthalten. Es wird vielleicht schwer auszumachen sein, ob die Dolomitisierung schon vor der Bedeckung mit anorganischem Sediment oder erst nach der Einhüllung stattgefunden hatte. Im letzteren Fall wäre anzunehmen, daß beim Eindringen des Meereswassers das in ihm freilich heute fast nur in Spuren vorhandene Fe zuerst niedergeschlagen wurde, wodurch Toneisensteinknollen im Hangenden der Kohlenlager entstehen konnten. Erst nachdem das Gros des Eisens niedergeschlagen war, wurde auch der Kalk mit den letzten Eisenresten gefällt, der dann die Dolomit-(Eisenspat-)Knollen bildete. So wird man sich die Sonderung und das Zusammenauftreten der Eisen- und Dolomit-„Intuskrustate" erklären können. Dieser Vorgang würde dem sogenannten Gesetz vom „Kalk und Eisen" entsprechen, nach welchem dort, wo neben Kalk auch Eisen vorkommt, der Kalk als Wiederablagerung in größerer Menge auftritt als Eisenverbindungen, weil zunächst wesentlich Calciumcarbonat in Lösung übergeht und dann erst das Ferrocarbonat als Ferrobicarbonat in Bewegung kommt. Wo Bedingungen für eine Fällung vorhanden sind, verläuft der Prozeß umgekehrt, d. h. zunächst geht das Eisen heraus, dann der Kalk. Das Eisen mag auch aus herzufließendem Süßwasser stammen, das sich mit dem Meereswasser vermischte, oder es hat seinen Ursprung aus dem von dem Meereswasser durchtränkten Sediment.

Digitized by Google

In heutigen Untermeer-Torflagern habe ich keine den Dolomit-Knollen vergleichbare Konkretionen gefunden. Allerdings habe ich nur gelegentlich darauf achten können. Es wäre wertvoll, nach diesen Gebilden systematisch zu suchen. Jedenfalls ist es bekannt, daß Humus (also auch der Torf) ein hervorragendes Absorptionsvermögen für gelöste Salze hat. Wurde doch sogar früher an der Nordsee der Untermeer-Torf zwecks Salzgewinnung verbrannt.

Die Carbonmoore als Sumpfflachmoore von Regenwaldcharakter

Bemerkung. Gegen die Potoniésche Auffassung der Steinkohlenmoore als Flachmoore mit tropischem Klima haben sich eine ganze Reihe von Forschern gewandt, aus verschiedenen Gründen. Auch der Herausgeber (1914, S. 826) konnte sich mit einem so extremen Standpunkt nicht einverstanden erklären. Das größte Hindernis für die Annahme eines tropischen Klimas für die Carbonmoore liegt zweifellos in der Verbreitung der heutigen wichtigsten Steinkohlenbecken, die sich in einem ähnlichen Gürtel und in ähnlichen Breiten um die Nordhemisphäre herumziehen, wie die heutigen Moore der temperierten Zonen. Potonié hat übrigens seinen Standpunkt selbst durch die Bemerkung (s. unten) gemildert, daß er von den Carbonmooren spricht „als fossilen Tropenmooren, mindestens aber solchen, die unter frostfreiem Klima entstanden sind". Diese Ansicht kann man wohl unterschreiben, aber von hier bis zum Tropenklima sind doch noch manche Zwischenstufen, und auf einer solchen wird wohl die Wahrheit zu suchen sein. Die hinten näher genannten Eigenschaften der Steinkohlenpflanzen, die als charakteristisch für „Tropenpflanzen" angeführt werden, sind richtiger als Eigenschaften der Vegetation der heutigen Regenwälder anzusprechen, die nun zwar in den Tropen sehr häufig sind, aber nur in niederschlagsreichen Gebieten. Sie sind aber keineswegs auf die Tropen beschränkt, wie die Regenwälder an der chilenischen und neuseeländischen Küste beweisen. Das Wesentliche scheint weniger die Temperatur als der Reichtum an Niederschlägen zu sein, der als Folgeerscheinung des für die Carbonmoore im ganzen zweifellos anzunehmenden ozeanischen Klimas zu verstehen ist. Speziell für die paralischen Steinkohlenbecken läßt sich eine solche Auffassung leicht verstehen. Im Hintergrunde der flachen Ebenen, auf denen die Steinkohlenmoore erwuchsen, befanden sich ja höhere Gebirge, in Mitteleuropa die „varistischen und armorikanischen Alpen", die als Regenfänger zu denken sind und dem vorgelagerten, mehr oder weniger meeresnahen Flachland (vergl. die marinen Einlagerungen) ein feuchtes niederschlagsreiches Klima verschafften. Dabei muß natürlich eine genügend warme Temperatur geherrscht haben, die ein reichliches, üppiges Wachstum der Gewächse ermöglichte; wahrscheinlich werden größere jahreszeitliche Schwankungen nicht bemerkbar geworden sein, sonst müßten wenigstens die mit dicken Holzkörpern versehenen Cordaiten u. ähnl. m. E. Zuwachszonen zeigen. Geringere jahreszeitliche Schwankungen sind auch gerade ein Charakter ozeanischer Klimate. Ich kann hier im einzelnen auf diese Frage, besonders auch die Zuwachszonenfrage nicht eingehen, aus den vorn im Vorwort genannten Gründen und muß dies auf die nächste Auflage aufsparen. Die Einwände die von Eckardt, Antevs und wohl noch anderen dagegen gemacht werden, sind mir bekannt.

Ich habe nun aus den im Vorwort genannten Gründen das folgende Kapitel des Buchs mit geringen Abänderungen bestehen lassen, wollte jedoch nicht unterlassen, einige Vorbemerkungen vorauszuschicken, in deren Rahmen man das Nachfolgende betrachten möge. Ein feuchtwarmes Klima wird man den Steinkohlenmooren nicht

Digitized by Google

absprechen können; ein Zwang, ein tropisch-ozeanisches Klima anzunehmen, besteht jedoch nicht. Trotz der Entdeckung tropischer Moore sind diese immer noch von geringerer Bedeutung als die der eigentlichen Moorgebiete. Daß auch in früheren Perioden in den Tropen Moor- bezw. Kohlenbildung stattfand, ist bekannt; im Palaeozoikum, im Mesozoikum, im Tertiär kennen wir aus den Gebieten der heutigen Tropen Kohlenlager, die aber an Bedeutung hinter den Becken des Hauptkohlengürtels der Nordhemisphäre weit zurückstehen, und ähnlich wird es mit den heutigen Tropenmooren sein[1]). Die Entdeckung solcher wird demungeachtet immer von großem Interesse bleiben. Man vergleiche hierzu die Karte der Moore der Erde in FRUH und SCHRÖTER (1904), auf der jedoch die Tropenmoore noch fehlen, sowie die Gegenüberstellungen der Moorgebiete und Kohlenvorkommen der Erde bei KUKUK (1920). W. GOTHAN.

Ich habe mich von Anbeginn meiner Kenntnis der palaeozoischen Floren in meinen früheren Schriften stets auf dem Standpunkt befunden, den ich 1909 eingehender begründen konnte, daß nämlich die palaeobotanischen Tatsachen dazu drängen, die Carbonmoore als fossile Tropenmoore[2]) mindestens aber als solche anzusehen, die unter frostfreiem Klima entstanden sind. Dieser dauernd festgehaltene Standpunkt hat dann auch schließlich zur Aufklärung geführt.

Moorbildung unter Tropenklima.

Die Moorkundigen waren bisher der Meinung, daß unter tropischem Klima Moore nicht vorhanden seien und sich auch nicht bilden könnten.

Wenn auch tropische Hitze die Zersetzung organischer Substanzen wesentlich beschleunigt, so fehlen doch unter tropischem Klima Humusböden nicht. Stark humose oder mit einer schwächeren Humusschicht bedeckte Waldböden sind dort vorhanden; aber ein hinreichender Nachweis für das Vorkommen von echten Mooren unter Tropenklima war bis jetzt nicht geführt worden. Man könnte meinen, daß die große Produktion organischer Substanz in den Tropen die Zersetzungsintensität generell übertreffen könnte. „Wenn die Menschen Deutschland verließen, so würde dieses nach 100 Jahren ganz mit Holz bewachsen sein", so beginnt HEINRICH COTTA seine Anweisung zum Waldbau, und A. MÖLLER fügt (1891) hinzu: „Wenn die Menschen Blumenau (in Brasilien) verließen, so würde dieses in 10 Jahren ganz mit Holz bewachsen sein". Hr. Dr. S. H. KOORDERS (ein erfahrener Kenner tropischer Vegetation) machte mir ferner Mitteilungen über spontane Neubewaldungen in den Tropen und speziell über diejenigen Spezies, die dazu an erster Stelle beitragen. Danach hat sich eine Strecke auf der Insel Nusa Kambangan

[1]) Vergl. hierzu noch STEVENSON (1916), der noch weitere Vorkommen tropischer Moorbildungen zusammengetragen hat.

[2]) Wenn oben und im folgenden kurz von Tropenmooren die Rede ist, sind hier stets die Moore auf Geländen mit Tropenklima gemeint, nicht kältere Gelände, wie sie auf Gebirgen auch der Tropen vorhanden sind, die dann natürlich unter den sonst für Moorbildung günstigen Bedingungen Moore aufweisen, wie die gemäßigten und kälteren Klimazonen der Erde.

Digitized by Google

in der Provinz Banjumas in Mittel-Java innerhalb 30 Jahren durch einen Urwald mit über 25 m hohen Bäumen auf der Ostspitze genannter Insel bedeckt, während der Genannte auf der Westseite ein ähnliches Tal innerhalb 7 Jahren spontan wieder mit Mischwald bestanden fand. Der Boden war in dem letzten Fall sehr deutlich humos geworden. Es fand sich aber keine ausgesprochene, auch noch so dünne Humusdecke. W. DETMER teilt (1907) mit, „daß eine Maispflanze in Buitenzorg auf Java an lufttrockener Substanz der oberirdischen Organe in 32 Tagen 29,5 g, in Jena in 32 Tagen jedoch nur 6,5 g produziert hatte, in den Tropen also in dieser kurzen Zeit etwa fünffach soviel wie bei uns. Sehr interessante vergleichende Angaben über die Schnelligkeit des Wachstums und das erreichte Körpervolumen von Pflanzenarten einerseits in den Tropen, anderseits in Deutschland gibt Dr. KOORDERS. Danach erreicht z. B. eine 9jährige *Albizzia moluccana* auf günstigem Boden eine Gipfelhöhe von 33 m, eine 9jährige Buche jedoch bei uns kaum 2 m Höhe, eine gleichaltrige Lärche etwas über 4 m und eine ebenfalls 9jährige Edeltanne etwa 1 m. Bei erreichtem 17. Lebensjahre sind die respektiven Zahlen für *Albizzia* 44 m, für die in Deutschland gewachsenen angegebenen Arten, nämlich die Buche rund 3,5—4 m, die Lärche 10 m, die Tanne etwa 3 m. Hinsichtlich des Volumens zeigte ein 33 m hoher, 9 Jahre alter Baum von *Albizzia* 6,6 cbm sogenanntes Derbholz (das ist Holz über 10 cm Durchmesser), „diese Produktion wird in Europa nur bei einigen Bäumen im 80. bis 100. Jahre erreicht". Dabei ist zu beachten, daß solches Holz von *Albizzia* ein vielfach gebrauchtes Bauholz ist. Nach DETMER soll man „in den tropischen Urwäldern, weder in den brasilianischen noch in den javanischen, keineswegs eine so bedeutende Menge umgesunkener Baumriesen antreffen, wie man von vornherein erwarten sollte. Im Gegensatz dazu fällt" — sagt er weiter — „die große Anzahl modernder Stämme, welche den Boden mitteleuropäischer Urwälder bedecken, um so mehr auf", wie z. B. im Luckenwald am Kubani in Böhmen. Dr. KOORDERS sagt mir aber, daß in den wirklichen Urwäldern, wo besonders feste Hölzer vorkommen, wie in *Tectona*-Urwäldern in der Provinz Remba (Mittel-Java), umgefallene Bäume viele Jahrzehnte hindurch in großen Mengen liegen bleiben und dann noch zum Export brauchbar sind. Sie werden von der niederländischen Regierung verkauft, bezw. es werden Strecken zum Herausholen dieser toten und herumliegenden Stämme verpachtet. Auf einer weiter unten noch näher bezeichneten Expedition in Mittel-Sumatra, an der Dr. KOORDERS als Botaniker teilgenommen hat, fanden sich im tiefsten, immergrünen Mischhochwald eine sehr große Zahl gefallener Waldriesen, die das Passieren unter Umständen sehr beschwerlich machte.

Immerhin ist zu sagen, daß in den gemäßigten Zonen in der Tat die Zersetzung von Pflanzenmaterial sehr viel langsamer vonstatten geht

Digitized by Google

als in den Tropen, und daß in diesem die größere Wachstumsintensität meist nicht ausreicht, um hinsichtlich der Humusproduktion mit der gemäßigten Zone konkurrieren zu können. Die in Mitteleuropa fehlenden Termiten helfen die Zersetzung in den heißen Ländern wesentlich beschleunigen, und die Zerstörung durch Pilze ist weit intensiver. Was aber in erster Linie in Betracht kommt für die Hintanhaltung der Zersetzung, das ist ständige Nässe und Feuchtigkeit. Wo die Niederschlagsmengen überwiegen gegenüber der verdunstenden und versickernden Wassermasse, da haben wir in den gemäßigten Zonen vermoortes Gelände.

Man sollte denken, daß auch in den Tropen an solchen Örtlichkeiten, wo eine Sumpfvegetation Gelegenheit hat, sich in ganz stagnierendem Wasser zu zersetzen, auch bei dem Abschluß, den das Wasser bewirkt, feste Produkte, d. h. Torf, zurückbleiben müßten, wie es denn auch tropisches Sapropel gibt. Organisches Material läßt namentlich unter stagnierendem Wasser einen relativ reichlichen kaustobiolithischen Rest zurück. Diese Tatsache hatte mich auch zu der Bitte veranlaßt, nach tropischem Sapropel zu suchen, und mich bewogen, unermüdlich anzuregen, nach tropischen Flachmoortorfgeländen zu fahnden. Denn daß nach der angegebenen Richtung hin die Tropen erst ganz oberflächlich bekannt sind, ist zweifellos. In den Tropen sind sumpfige Gelände gesundheitsgefährlich oder doch als solche gefürchtet, anderseits auch schwer begehbar. Von den in den Tropen vorkommenden Sumpfwäldern und Sumpfgebüschen wissen wir daher noch nicht viel. „Im Gegensatz zu den Mangroven — sagt A. F. W. SCHIMPER (1898) — sind die gemischten Waldbestände der Süßwassersümpfe im Innern von Birmah, Sumatra und Borneo bisher nur sehr wenig untersucht worden, obwohl sie sowohl floristisch wie ökologisch viel Eigenartiges zu bieten scheinen".

Unentwegt habe ich Jahre hindurch in Sitzungen, wo Reisende Tropenvegetationen schilderten, und wo ich persönliche Beziehungen mit Tropenkennern hatte, nach dem Vorkommen von echten Mooren (mit Torfuntergrund!) gefragt und endlich habe ich auf diesem Wege in der Tat eine interessante Auskunft von Herrn Dr. S. H. KOORDERS erhalten. Es handelt sich um ein großes, mit einem über 30 m hohen immergrünen Mischwald bestandenes Flachmoor, das er im Jahre 1891 als botanischer Teilnehmer der holländischen Mittel-Sumatra-Expedition durchquerte, und das sich in der heißen Ebene des flachen, östlichen Teils der genannten Insel, und zwar an dem linken, nördlichen Ufer des Kamparflusses, in einer Entfernung von mehr als 90 km von der Meeresküste befindet.

Um aber dieses Gelände zweifellos als Moor ansprechen zu können, fehlte zunächst noch der strikte Nachweis, daß der Boden ein mächtigerer Torfboden sei. Diese Lücke ist jetzt beseitigt. Denn meine Bitte, eine ordentliche Bodenprobe des fraglichen Moores zu besorgen, hat die Ausführung einer kleinen Sonderexpedition durch J. G. LARIVE zur Folge

Digitized by Google

gehabt. Der Genannte hat in dem Tropenmoor eine Torfmächtigkeit bis zu 9 m festgestellt. Eine statistische Aufnahme der einzelnen, noch unter dem Mikroskop figuriert erhaltenen Objekte in dem Tropentorf ergibt natürlich (vergl. vorn p. 23 ff.) kein genaues Bild über die Häufigkeit oder Seltenheit bestimmter Gruppen, die mehr oder weniger zur Torfbildung beigetragen haben, weil manche Pflanzenreste sich schnell bis zur Unkenntlichkeit zersetzen, andere dagegen wie Moosreste, Sporen und Pollen sich widerstandsfähiger zeigen. Jedoch läßt sich, wenn man die Objekte einigermaßen zu beurteilen versteht, doch wenigstens in vielen Fällen ein generelles Bild über die ursprüngliche Flora gewinnen. In unserm Fall haben wir den Vorteil, die Zusammensetzung der lebenden Flora in ähnlicher Weise zu kennen, wie im produktiven Carbon, wo wir in gleicher Weise die die Steinkohle bildende Flora mit den mikroskopischen Bildern der Steinkohle selbst vergleichen können. Da zeigt sich nun insofern eine volle Übereinstimmung, als wir bei unserem Tropentorf sowohl wie bei der Humuskohle des produktiven Carbons im mikroskopischen Bilde wesentlich Reste höherer Pflanzen beobachten. Diese mikroskopischen Bilder stimmen so weitgehend überein, wie man es auf Grund der Verschiedenartigkeiten der Floren hinsichtlich der Pflanzenfamilien, die vertreten waren beziehungsweise vertreten sind, nur verlangen kann. Es fanden sich: 1. viele Gewebefetzen von Phanerogamen; 2. Sporen beziehungsweise Pollenkörner; 3. dünne Stengelreste ohne ordentliche Gewebesonderung und ohne Spaltöffnungen, die vielleicht Moosstengel sind; sie waren aber nur untergeordnet vertreten; 4. braune hyphenartige Fäden, ebenfalls nur spärlich vorhanden, könnten vielleicht zu Pilzen gehören; 5. harzähnliche Körperchen usw. — Bei dem hohen Kieselsäuregehalt der Torfasche wäre das Fehlen von Diatomeen-Schalen in den Präparaten hervorzuheben. Algenreste und andere Sapropel bildende Organismen wurden überhaupt nicht beobachtet. Aus einer chemischen Analyse des Tropentorfes verglichen mit Analysen guter norddeutscher Flachmoortorfe ergibt sich, daß die Torfnatur des Tropenflachmoorbodens ganz und gar nichts zu wünschen übrig läßt. Nach den Begriffen unserer norddeutschen Torftechniker handelt es sich um einen guten Brenntorf. Besitzt er doch nur einen Aschengehalt von 6,39 v. H. der absolut trocknen Substanz (gegenüber z. B. 5,05 und 7,04 von beliebigen Vergleichsproben guter norddeutscher Flachmoortorfe). Dabei ist zu berücksichtigen, daß als Brenntorf noch ein Torf bezeichnet wird, der bis 30 v. H. Asche enthält. Danach ist der Tropentorf ein besonders guter Brenntorf und zwar ein absolut typischer Flachmoortorf. Bemerkenswert ist der hohe Kieselsäuregehalt der Tropentorfasche, nämlich 74,19 v. H. (gegenüber 17,99 respektive 6,72). Die brennbare organische Substanz ist in allen 3 Proben ziemlich gleich (93,53 respektive 94,93 und 93). Es sei hierzu erwähnt, daß auch die

Digitized by Google

Steinkohlenaschen besonders viel Kieselsäure (und Tonerde wie auch in der Tropentorfasche) zu enthalten pflegen. Als Beispiel diene die folgende Analyse (nach GRUNDMANN 1865) einer (Humus-)Steinkohlenprobe aus dem Sattelflöz (der Königgrube) Oberschlesiens. Die Kohle enthielt 2,085% Asche und diese bestand aus 55,40 Kieselsäure, 18,95 Tonerde, 16,06 Eisenoxyd, 1,87 Magnesia, 3,21 Kalk, 2,05 Kali, 1,73 H_2SO_4 und 0,36 Phosphorsäure.

Damit ist der Nachweis geliefert, daß auch unter Tropenklima an dauernd mit ruhigem Wasser besetzten Örtlichkeiten große Torflagerstätten und zwar große Sumpfflachmoore entstehen können: wohlverstanden in erster Linie oder vielleicht ausschließlich Sumpfflachmoore oder allgemeiner Sumpfmoore, weil kaustobiolithisches Material sich überall unter Wasser leichter erhält als über dem Grundwasser.

Unser Resultat — das sichere Vorkommen eines großen ordentlichen autochthonen Torflagers unter Tropenklima, noch dazu in der Nähe des Äquators — hat nun für die Erkenntnis der Kohlenlager führenden geologischen Formationen, zumal des Paläozoikums eine hervorragende Bedeutung; denn bei der Tatsache, daß die Pflanzen der produktiven Steinkohlenformation tropischen Habitus und sonst Eigentümlichkeiten aufweisen, die heute die Tropenpflanzen auszeichnen, ist die Frage nach der Torfbildung in den Tropen für uns von Wichtigkeit. Glaubte man doch — veranlaßt durch die immer wiederkehrende Angabe des Fehlens von Torflagerstätten unter Tropenklima — zu besonderen Hypothesen greifen zu müssen, um den Widerspruch zu lösen, der sich in dem Vorkommen fossiler Moore (Steinkohlenlager), gebildet aus Vegetationen von Tropenpflanzen-Habitus, zu erkennen gibt! Auch in diesem Falle kommen wir also nunmehr zur Erklärung dieser Erscheinung vollständig mit Vergleichsdaten aus, die uns die heutigen Verhältnisse bieten. Trotzdem erst nachzuweisen war, daß wirklich an geeigneten Stellen in den Tropen Moorbildung fehle, war doch diese Ansicht dermaßen in succum et sanguinem der Gelehrten übergegangen, daß weitgehende irrtümliche Folgerungen möglich waren.

Es sei nunmehr die Flora unseres Tropen-Sumpfflachmoores mit derjenigen der Flora des produktiven Carbons verglichen, um zu sehen, welche Erkenntnisse über den Charakter der letzteren daraus zu gewinnen sind.

Aus der KOORDERSschen Darstellung, die sich in meiner Abhandlung von 1909 findet, sei das Folgende hervorgehoben. Er veranschlagt die durchquerte Breite des Süßwasser-Sumpfwaldes am linken Kamparufer auf 12 Kilometer und die vermutliche Oberfläche auf mehr als 80000 Hektar. Bei den beiden Biwaks inmitten des Moores wurde nur stagnierendes Süßwasser beobachtet von dunkelbrauner Färbung

Digitized by Google

und von sehr schwach adstringierendem Geschmack, mitunter sehr schwach bitter, immer fast geruchlos und immer schön durchsichtig. Der Gebrauch dieses wie starker klarer Tee aussehenden Wassers zeigte sogar auch bei ungekochtem Gebrauch bei keiner der mehr als 250 Personen starken Expeditionskolonne auch nur die geringsten Nachteile. Das Betreten des Moores war nur dadurch möglich, daß es überall mit einem Walde bestanden war, dessen Wurzeln die ganze Oberfläche mit einem dichten Netze bedeckten. Große Schwierigkeiten wurden bei dem Marsch dadurch verursacht, daß die meisten Baumspezies von zahllosen aufrecht wachsenden, entweder dünnkegelförmigen, geraden oder dünnzylindrischen, sich später knieförmig oben umbiegenden Atemwurzeln (Pneumatophoren) umgeben waren. Diese aufrechtwachsenden Atemwurzeln (Fig. 52) erhoben sich in einer Höhe von etwa $^1/_3$—$^1/_2$ m ober-

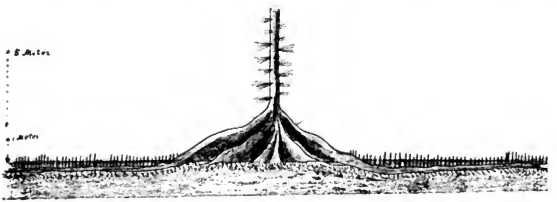


Fig. 52. Einer der Charakterbäume des sumatranischen Tropenmoores mit großen Brettwurzeln, horizontal wachsenden „besenförmigen Luftwurzeln" und aufrecht wachsenden, spargelförmigen Pneumatophoren. (Original von KOORDERS.)

halb der stagnierenden Wasserfläche. Sie besaßen meist nur 2—4, seltener 6—10 cm im Durchmesser. Die Oberfläche der erwähnten, auch Kniewurzeln genannten Pneumatophoren war in Übereinstimmung mit ihrer Atemfunktion ohne Ausnahme dicht mit großen, kräftig funktionierenden, durch die weiße Farbe auffallenden Atmungsöffnungen (Lenticellen) bedeckt.

Der Moorwald besteht vorwiegend aus sehr eng zusammenstehenden, 25—35 m hohen immergrünen Bäumen, mit glatten, auffallend geraden Stämmen, welche erst sehr weit oben unregelmäßig verzweigt sind und eine ziemlich dichte, aber nur wenig breite, kleine Krone besitzen. Das Unterholz besteht hauptsächlich aus jungen, kerzengeraden Bäumchen der Baumarten, welche den Hochwald zusammensetzen, aus den Familien der *Guttiferae*, *Burseraceae*, *Meliaceae*, *Myristicaceae*, *Myrtaceae* und *Euphorbiaceae*. Diese Bäumchen zeichnen sich, als Folge des Halbdunkels, in welchem sie vermutlich viele Jahrzehnte ihr Leben fristen müssen, dadurch aus, daß die kerzengeraden Stämmchen nur an ihrer Spitze eine

Digitized by Google

auffallend kleine, schlecht belaubte Krone tragen. Unter den höchsten Waldbäumen dieses Flachmoorwaldes fehlten *Gymnospermen* und *Monokotyledonen* vollständig. Der Hauptbestand war ausschließlich aus Repräsentanten solcher Familien zusammengesetzt, die in dem Malaischen Archipel das Hauptkontingent bilden in immergrünen, hochstämmigen, häufig aus 500—600 Baumarten bestehenden Misch-Urwäldern, wie dieselben in der heißen Ebene dort auf fruchtbaren (sauerstoffreichen, frischen) Böden charakteristisch sind. Bemerkenswert war indessen, daß die den Hauptbestand des Moorwaldes bildenden Baumarten spezifisch verschieden waren von denjenigen Spezies derselben Gattungen, welche die umgebenden Wälder auf Boden mit nicht stagnierendem Wasser zusammensetzen. Es handelt sich demnach nicht um Abkömmlinge der Salzwasser(Mangroven-)Gemeinschaft, sondern um einen besonderen Pflanzenverein, der sich aus Inlandtypen herleitet. Unter den kleineren Bäumen sind die Monokotyledonen wohl, aber relativ spärlich, in dem Moorwald vertreten und die Gymnospermen fehlen ganz. Von den baumartigen Vertretern der Monokotylen sah K. nur einige wenige zerstreut stehende *Palmen* und *Pandanus*. Unter den physiognomisch interessanten kleineren Bäumen dieses Moorwaldes verdient ein kleiner *Baumfarn (Alsophila?)* erwähnt zu werden, der nur sehr zerstreut auftrat. Unter den *Sträuchern* war die Familie der *Palmae* durch zahlreiche Exemplare vertreten, und unter den *Lianen* spielten die *Palmen* durch sehr zahlreiche Individuen von ein Paar *Calamus*-Arten, besonders an dem nördlichen Saum des Moorwaldes eine sehr wichtige Rolle. Die Kräutervegetation war sehr spärlich, sowohl hinsichtlich der Artenzahl wie auch der Individuen. *Gramineae* und *Cyperaceae* fehlten fast vollständig. Meist war der Boden nackt und die kleinen Zwischenräume waren zwischen den in gedrängtem Stande überall über die Oberfläche ragenden, aufrecht wachsenden Atemwurzen nur durch einige wenig auffallende, kleine Kräuter und sonst nur durch dicke Schichten abgefallener in Zersetzung begriffener Blätter der Waldbäume bedeckt. *Sphagnen* fehlten ganz, und andere *Moose*, wie *Lebermoose*, *Flechten* und krautartige *Pteridophyten* waren nur sehr spärlich vertreten. Epiphyten fanden sich wegen der Glattstämmigkeit und sehr hohen Verzweigung nur in den Kronen der höchsten Bäume. Die zahllosen, mit braunem, stagnierendem Wasser erfüllten Tümpel waren vermutlich z. T. durch Lichtmangel relativ sehr arm an phanerogamen *Wasserpflanzen*, dagegen an durch Windbrüche etwas gelichteten Stellen ziemlich reich an *Fadenalgen*. Im allgemeinen trug die Wasseroberfläche dieser meist nur wenige Dezimeter tiefen Tümpel keinen Pflanzenwuchs.

Die Stämme des Moorwaldes hatten alle eine ziemlich glatte Rinde (keine Borke), die besonders an den unteren Stammteilen in vertikaler Anordnung eine auffallend große Zahl infolge kräftiger Atmungsfunktion

Digitized by Google

schön weiß aussehender Lenticellen zeigte. Die meisten Stämme der Bäume, namentlich der größten, wiesen in unserem Moorwald neben den erwähnten Pneumatophoren noch drei Merkmale auf, die besonders erwähnt zu werden verdienen, nämlich 1. Stelzwurzeln, 2. Brettwurzeln, und 3. horizontal wachsende, besenartige Luftwurzeln. Die Stelzwurzeln und die Brettwurzeln treten in einer so üppigen Entwicklung auf, daß dadurch dem Moorwald ein ganz besonderer Charakter aufgedrückt wird. Zuweilen gehen beide Formen ineinander über, aber im allgemeinen kann man Baumspezies mit ausgeprägten, viele Meter über der Erde ausgedehnten und bis zu 3—4 m hoch an den Stamm heraufreichenden Brettwurzeln beobachten, neben Baumarten, bei denen der 15—30 m hohe Stamm auf einem Gerüst von 2—5 m hohen Stelzwurzeln ruht. Diese brettartigen Stammfußverbreiterungen, Fig. 52, und die Stelzwurzeln sind auf dem weichen, schlammigen Boden als Befestigungsmittel zweifellos sehr nützliche Einrichtungen; aber es darf auch nicht übersehen werden, daß durch diese starken Oberflächenverbreiterungen des Stammfußes der Waldriesen die Gelegenheit für Luftaufnahme (durch Lenticellen usw.) sehr erheblich vergrößert wird. Diese Vermutung wird dadurch gestützt, daß die Brett- und Stelzwurzeln ebenfalls reichlich mit stark funktionierenden, schön weißen, turgeszent ausgestülpten Lenticellen versehen sind. Die ausgesprochene Vermutung, daß die Brettwurzeln neben dem Zweck der Unterstützung des Baumes unter Umständen auch noch (und zwar besonders auf sauerstoffarmem Boden) eine Bedeutung haben für die Sauerstoffzufuhr, also als Atmungsorgan, wird noch dadurch wahrscheinlicher, daß die Baumspezies der Mangrove, welche keine für die Atmung speziell dienenden Pneumatophoren besitzt, nämlich *Carapa obovata*, sich durch hohe, über die Erdoberfläche laufende Brettwurzeln auszeichnet, die auch hier durch eine große Zahl Lenticellen auffallen. Der dritte oben erwähnte Charakterzug unseres Moorwaldes besteht in der außerordentlich üppigen Entwicklung von höchst eigentümlichen Luftwurzeln, welche büschelartig, bis zu einer Länge von ein bis eineinhalb Meter, horizontal herauswachsen. Diese besenartigen Luftwurzeln versehen den im Stamm aufsteigenden Saftstrom mit Sauerstoff. Besonders die Sauerstoffarmut bedingt eine oberflächliche und sehr weit ausgedehnte Entwicklung des gesamten Wurzelsystems, die an den ziemlich zahlreichen, durch Wind oder Alter umgefallenen, im Walde herumliegenden Baumriesen sehr schön konstatiert werden konnte. Wie a priori zu erwarten war, fehlten Pfahlwurzeln hier gänzlich. Im Zusammenhang mit der durch den gedrängten Stand der hier wachsenden Moorwaldbäume gehemmten, räumlichen Ausdehnung der Ernährungswurzeln sind diese rings um jeden Baum zu einer dichten, der Bodenoberfläche flach aufliegenden, rasenfilzähnlichen Decke infolge außergewöhnlich reicher Verzweigung ausgebildet.

Digitized by Google

Der nördliche Saum des Moorwaldes kennzeichnete sich dadurch, daß allmählich die charakteristischen Moorwaldbäume mit ihren Atemwurzeln und anderen interessanten Anpassungen an das Leben im Moore mit dem Steigen des aus lehmigem Quarzsand bestehenden Untergrundes allmählich für andere Baumspezies und andere nicht baumartige Pflanzen zugleich mit auffallender Zunahme von *Calamus*-Arten und anderen Lianen Platz machten. Bei diesen fehlten die physiologischen Anpassungen der Moorpflanzen fast vollständig. Hier an dem nördlichen Saum hatte das Wasser die braune Farbe ganz eingebüßt, war also wieder farblos und sehr schwach strömend. Bei dem Weiterdringen nach Norden konnte man nunmehr mit einem gewöhnlichen Spazierstock den anorganischen Untergrund fühlen, der in dem eigentlichen Moorwalde sogar mit einem Stock von 6 m Länge nicht erreicht werden konnte. Sobald endlich das aus reinen Mineralbestandteilen bestehende, trockne, sich ein paar Meter über dem Wasserspiegel erhebende Gelände erreicht war, waren alle Charakterpflanzen des geschilderten Moorwaldes verschwunden.

Wenn die tropischen Sumpfmoore ihren Torf so weit angehöht haben, daß der ganze, früher einmal vom Wasser besetzt gewesene Raum von Torf eingenommen wird, so wird der nunmehr einsetzende Pflanzenbestand demjenigen unserer Standflachmoore entsprechen. Ob es schließlich selbst zu Zwischenmooren oder ihnen faziell gleichzustellenden Mooren kommt, ist noch unbekannt. Es sind Zwischenmoore vielleicht aber kaum zu erwarten, weil jede Humusbildung über dem ursprünglichen Grundwasserspiegel bei der Hitze und Feuchtigkeit einer zu eifrigen Zersetzung unterliegt. Bis jetzt ist jedenfalls als unter tropischem Klima Torf produzierend nur unser sumatranisches Sumpfmoor bekannt[1]). Es ist anzunehmen, daß Sumpfmoore in den Tropen verbreitet sind. Leider mangelt es an Untersuchung der Böden und selbst der Flora. Unter anderem wäre es wichtig zu prüfen, wie sich die Humusböden der Tropen zu denen der gemäßigten und kalten Zonen verhalten; denn unter den tropischen Wärmeverhältnissen wird die Zersetzung anders vor sich gehen als in der gemäßigten Zone. Es muß sich daher eine Verschiedenheit zwischen den Humusgesteinen der Tropen im Vergleich zu denjenigen der gemäßigten und kalten Zone ergeben.

Moorflora insbesondere des Produktiven Carbons und Flachmoornatur der Steinkohlenmoore.

Es scheint, daß uns im Carbon in erster Linie die Pflanzen der Carbonmoore erhalten geblieben sind, wogegen die Pflanzen trockener und höhergelegener Gebiete spärlicher vertreten sein dürften. Bei den

[1]) Andere Moorvorkommen in tropischem Klima haben WICHMANN, KEILHACK (Ceylon), STEVENSON (1916) und JANENSCH bekannt gemacht.

Digitized by Google

in den Schichten unserer Hauptsteinkohlenbecken aufbewahrten Pflanzen dürfte es sich wohl fast ausnahmslos um Pflanzen der Steinkohlenmoore handeln und nur von solchen soll ja im folgenden die Rede sein.

Zunächst ist als Antwort auf die Frage: Sind die Steinkohlenlager und fossilen Humuslager überhaupt fossile Flachmoore oder fossile Hochmoore?, auf den Gesamtcharakter der Carbonpflanzen, auf ihre Größe und Üppigkeit hinzuweisen, die unbedingt demjenigen von Flachmoortypen entspricht. Die Hochmoorpflanzen sind klein und tragen xerophytische Merkmale. Auch sei daran erinnert, daß sich bis jetzt im Palaeozoikum noch keine sicheren Moosreste gefunden haben, überhaupt nichts, was sich mit einiger Wahrscheinlichkeit so deuten ließe. Lebermoos-ähnliche Abdrücke werden zwar angegeben, und der vielerwähnte *Muscites polytrichaceus* aus dem Carbon von Commentry hat sicher äußerliche Ähnlichkeit mit Laubmoosen, doch ist dies nicht genügend, um die Existenz dieser Familie im Palaeozoikum sicher zu stellen, geschweige denn von einer reichlicheren Moosflora reden zu können. Auch der Fund des Mooskapsel- und Seta-ähnlichen *Sporogonites exuberans* im Unterdevon durch HALLE bedarf noch weiterer Ergänzungen. Am ehesten sollte man Moosreste in den Torfdolomiten erwarten, doch ist gerade hier noch keine Spur davon bemerkt worden.

Die Hochmoorbäume, die wir aus der Jetztzeit kennen, halten hinsichtlich ihrer Dicke keinen Vergleich aus mit den Bäumen unserer Flachmoore und dementsprechend mit denen des Carbons und Tertiärs. Die Legföhre *(Pinus montana)*, die auf Gebirgshochmooren Bestände bildet, erreicht nie die Dicke von Bäumen auf Flachmooren. Dann ist noch zu beachten, daß diese immerhin ansehnlichen Bäume der Hochmoore infolge der zurücktretenden mineralischen Nahrung sehr langsam wachsen und daher sehr festes, kleinzelliges Holz besitzen, im Gegensatz zu den raschwüchsigen, größerzelligen Bäumen der Flachmoore. Die Anatomie der Bäume des Carbons und Tertiärs zeigt die letzterwähnten Eigentümlichkeiten. Man findet besonders bei den Carbonpflanzen große Zellen, und daher durchaus den Habitus schnellwüchsiger Vegetationen.

Inwieweit im Carbon, Tertiär usw. auch Hochmoorbildungen vorgekommen sein könnten, oder ob solche sicher ganz fehlen, entzieht sich jetzt noch der Beurteilung. Es läßt sich denken, daß bei großen fossilen Mooren in zentralen bezw. abgeschlossenen, nicht vom Wasser durchflossenen Gebieten, wo infolgedessen ausnutzbare mineralische Nahrung, abgesehen vom Staube der Luft, fehlte, auch wohl Partien mit Hochmoor-Bedingungen entstanden sein können. Nur haben wir dafür keine floristischen Daten in den uns erhaltenen Fossilien, wie wir auch nicht einmal wissen, wie sich unter gleichen Umständen ein rezentes tropisches Sumpfflachmoor verhält.

Digitized by Google

Die *Calamariaceen* repräsentieren in ihrem Habitus mächtige Röhrichtformen. Sie traten auch gesellig wie die heutigen Röhrichte auf (vergleiche hierzu und zum folgenden unser Titelbild Fig. 1 und Fig. 60). In den Calamariaceen-Beständen haben wir es wie in den jetzigen Röhrichten wohl vornehmlich mit Flachmoorverlandern zu tun, also mit Pflanzen der echten Sumpfflora. Die Verlandernatur der Calamariaceen spricht sich auch darin aus, daß sie sich fossil besonders in Sandsteinen vorfinden, was schon dem trefflichen Beobachter LYELL aufgefallen ist. Röhrichtböden sind fossil oft genug zu sehen (vergl. p. 123). Bei Steinkohlenbohrungen bemerkt man vielfach, daß unterhalb der Stigmarienböden eine Calamitenzone sich befindet, die also gewissermaßen die Anfänge der Verlandung bewirkt haben werden wie unser Schilfrohr usw. Ein darauf eventuell folgendes Kohlenlager ist dann aus einem Flachmoor hervorgegangen. Auch die übrigen Pflanzengruppen der Carbonmoore, deren rezente nächste Verwandte durchschnittlich kleinere Formen sind, waren zur Carbonzeit vielfach baumförmig, so eine Anzahl Farne, Lepidodendraceen und Sigillariaceen.

Spricht schon der ganze Charakter der uns bekannten Carbonflora augenfällig für die Flachmoornatur der Carbonmoore, so wird diese sich aus der Flora ergebende Behauptung noch durch andere Tatsachen gestützt. So finden wir in den Gesteinen zwischen den Steinkohlenlagern gelegentlich Tiere und zwar auch Meerestiere, was ganz unsern Kenntnissen von den Strandmooren entspricht, die gelegentlich einem Meerwassereinbruch ausgesetzt sind, der Sedimente und Tiere zur Bedeckung des Moores hereinführt.

Ein Moor, das sich auf Landstrecken entwickelt, die gelegentlich die Moore mit sedimentären Massen überschwemmen, wird schon deshalb nur ausnahmsweise ein Hochmoor sein können. Die Überschichtung mit allochthonem Sediment weist darauf hin, daß im allgemeinen wohl auch mehr Wasser mit mineralischen (gelösten) Produkten hineingedrungen sein wird, wodurch die Hauptgrundlage für die Flachmoornatur erhalten bleibt. Hochmoore können sich nach alledem überhaupt nur ausnahmsweise, nur lokal fossil erhalten, da sie die Überschwemmungsgebiete fliehen. Erhalten können sich Kohlenlager nur unter Bedeckung. Die Herbeiführung von Materialien schafft aber Flachmoorbedingungen, es sei denn der Ausnahmefall vorhanden, daß einmal ein Sediment gar keine oder kaum ausnutzbare Nahrung enthält.

Auch das Vorkommen von Geröllen und konkretionären Bildungen (p. 149) in den Steinkohlenlagern spricht für ihre Flachmoornatur. Wir können reichlichere Eisen- und überhaupt Mineralmengen nur dort beobachten, wo mineralische Zuflüsse stattgefunden haben. Das ist aber nur in Flachmooren möglich, nicht in Hochmooren; denn letztere haben nur Abflüsse und werden daher ausgelaugt. So haben wir z. B. keine

Digitized by Google

Eisenmineralien in Hochmooren, wohl aber vielfach in Flachmooren. Steinkohlen- und Braunkohlenlager, die sich wegen ihres Gehaltes an solchen Konkretionen als Hochmoorbildungen deuten lassen, sind denn auch unbekannt. Es soll aber hiermit nicht gesagt sein, daß sie nicht noch gefunden werden, oder daß nicht bereits bekannte Lager sich bei näherer Untersuchung noch als fossile Hochmoore ergeben könnten. In Anlehnung an die heutigen Verhältnisse müßten dann aber andere Pflanzengemeinschaften, als sie sonst für das Carbon charakteristisch sind, angenommen werden, nämlich solche mit Merkmalen der heutigen Hochmoorpflanzen. Inwieweit sich in späteren geologischen Formationen die Moortypen unterscheiden, bedarf erst recht noch näherer Untersuchung, wie denn überhaupt in der vorliegenden Schrift Vieles nur angedeutet, aber nicht eingehender behandelt werden konnte. Jedenfalls aber könnten aus den angeführten Gründen fossile Hochmoore nur lokale

Fig. 53. Schema zur Veranschaulichung der Verteilung der Sapropelit-Sümpfe und Moortypen auf die verschiedenen Klimate. — Wa = normaler Wasserstand unabhängig von den Hochmooren gedacht, die nach Maßgabe ihres Höherwerdens den Grundwasserstand erhöhen.

Erscheinungen sein. Die schematische Fig. 53 soll die Erkenntnis, die sich aus den bisherigen Tatsachen ergibt, veranschaulichen. In den tropischen und subtropischen Ländern überwiegen danach die Sapropelit- und Flachmoor-, in den nördlichen die Hochmoor-Bildungen. In den gemäßigten Klimaten sind beide Typen vorhanden, was (vergl. p. 19) in der wegen des O-Mangels überall die Zersetzung aufhaltenden und abschließenden Wirkung des stagnierenden Wassers seine Ursache hat, während über dem Wasser die Zersetzung besonders in den Tropen sehr lebhaft ist.

Für ein feuchtwarmes Klima (s. S. 153 ff.) der Carbonflora sprechen folgende Tatsachen:

1. Soweit die fertilen Reste der Farne eine nähere Kenntnis des Baues ihrer Sori und Sporangien zulassen, zeigen sie sich mit Familien verwandt, die heute nur in den wärmeren Klimaten zu Hause sind. Unter anderem ist die Verwandtschaft vieler Carbonfarne mit den heutigen *Marattiaceen* zu beachten.

2. Während in den heutigen Zonen mit gemäßigtem Klima nur Farnstauden gefunden werden und nur gelegentlich kleine und kurze oberirdische Stämme zur Entwicklung kommen, treten im Carbon Farne und farnartige Pflanzen als Bäume und Schlinggewächse oder Lianen

Digitized by Google

stark hervor (Fig. 54). Überhaupt ist das Überwiegen großer, baumförmiger Gewächse im Carbon — worauf schon hingewiesen wurde — auch aus Gruppen, die heute meist krautig sind, zu erwähnen.

Fig. 54. *Sphenopteris* vom Typus der *S. Hoeninghausi* (*Lyginodendron*-Gruppe) in $^1/_3$ der natürl. Größe. a—a Hauptachse: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 u. 8 sind die mehr oder minder vollkommen erhaltenen, der Hauptachse ansitzenden Wedel, die spiralig zu stehen scheinen. — Unt. Produkt. Carbon von Ob.-Schlesien.

Fig. 55. Stückchen des Wedels von *Pecopteris plumosa* in $^1/_1$, mit Aphlebien auf der Hauptspindel.

3. Die „Aphlebien" auf der Wedel-Hauptspindel z. B. von *Pecopteris plumosa* (Fig. 55) sind Organe, die heute nur an Farnen wärmerer Klimate beobachtet werden. Sie gewinnen im ersten Jugendstadium der Wedel zu einer Zeit, während der die Fiedern noch eingerollt sind, schon ihre volle Größe, so daß die Wedel dann vollständig von ihnen eingehüllt werden (Fig. 56). Vermutlich sind es Schutz- (?und Taublättchen)

Digitized by Google

der Jugendwedel, die diese gegen mechanische Insulte und gegen zu starke Transpiration schützten.

Fig. 56. Junger Wedel von *Pecopteris plumosa* (in ca. $^3/_4$) aus dem produktiven Carbon des Saar-Revieres. Rechts und links von der Hauptspindel die noch vollkommen eingerollten Fiedern erster Ordnung und die bereits vollständig erwachsenen Aphlebien.

4. Die Größe der Wedel einer bedeutenden Zahl von Carbonfarnen entspricht wohl Verhältnissen, wie sie im wärmeren Regenwalde vorkommen. So große Wedel und Blätter können sich nur dort ent-

Digitized by Google

wickeln, wo ihnen das Klima genügend Zeit läßt und insbesondere die Luftfeuchtigkeit ständig hoch ist.

5. Wie die Holzgewächse in warmen Klimaten vermöge des günstigen Klimas oft der durch ein periodisches Wachstum bedingten Jahresringe entbehren, so fehlen ebenso diese periodischen Zuwachszonen den Holzgewächsen des Carbons durchweg. Diese Tatsache ist ferner ein Hinweis darauf, daß den uns bekannten Carbonpflanzen wie den Sumpfmooren ständig genügend Wasser zur Verfügung stand; denn in den heutigen Tropen steht eine Zuwachszonenbildung überwiegend in Beziehung zu einem Wechsel von nassen mit trocknen Perioden, wie in unserer mittleren gemäßigten Zone Winter und Sommer.

6. Ferner ist die Stammbürtigkeit der Blüten (die Cauliflorie) zu erwähnen. Heutzutage sind Gehölze, deren Blüten aus altem Holz (aus Stämmen und Zweigen) seitlich hervorbrechen, fast ganz auf die Regenwälder wärmerer Klimate beschränkt. Bei den Resten aus dem Carbon sind solche Blüten häufig, so bei manchen *Calamariaceen* und *Sigillariaceen*. Die Pflanzen wärmerer Gegenden zeigen viel häufiger als die Pflanzen unserer gemäßigten Zone die Ausbildung eigener Sprosse, denen ausschließlich die Ernährung obliegt. Bei den Bäumen mit stammbürtigen Blüten übernimmt gewissermaßen die ganze Laubkrone diese Aufgabe, während die Arbeit des Blühens und Fruchtens den älteren Ästen und dem Hauptstamme übertragen wird. Es ist vielleicht der durch die dichte, schnellwüchsige tropische Vegetationsdecke verursachte Kampf ums Licht, der sich darin ausspricht, daß die lichtbedürftigen Laubblätter oft ganz ausschließlich den Gipfel einnehmen, während die Fortpflanzungsorgane an den Teilen der Pflanzen auftreten, wo sie die ausgiebige Lebensverrichtung der Laubblätter nicht behindern.

Schon in dieser Übersicht wurden die Merkmale der Carbonpflanzen hervorgehoben, die auf Standorte mit reichlichem Wassergehalt hinweisen. Weitere Eigenarten, die auf ein Leben dieser Pflanzen im Feuchten bezw. im Nassen deuten, sind die folgenden:

Zunächst sei auf eine palaeozoische Pflanzengruppe aufmerksam gemacht, die man bis auf weiteres nicht gut anders als eine dem Wasserleben angepaßte ansehen kann. Ich meine die relativ gut bekannte Familie der *Sphenophyllaceen*. Zunächst stimmen sie im anatomischen Bau ihrer Stengel durch das zentral gelegene Hydrom mit dem untergetauchter Stengel bei Wasserpflanzen überein. Wir haben in beiden Fällen die zugfeste Anordnung der Gewebe. Dann aber ist die Heterophyllie bei den *Spenophyllaceen* bemerkenswert, d. h. die Entwicklung von geschlitzten (untergetauchten) „Wasserblättern" und flächenförmigen Schwimm- und Luftblättern wie bei rezenten Wasserpflanzen. Bei der in Fig. 57 abgebildeten Art sehen wir der Achse a—a ansitzend (1.) rein-lineale, lange Blätter, in deren Achseln Sprosse stehen (b),

Digitized by Google

die unten (2.) Blätter von tief-mehrfach-gegabelter Keilform tragen, während (3.) am Gipfel der Sprosse rein flächig-keilförmige Blätter ohne Gabelteilungen auftreten, von denen der einzelne Blattwirtel über dem Sproß in unserer Figur eine Anschauung gibt. Der abgebildete zeigt die Zusammengehörigkeit der Blattform 1 und 2; Sproßreste, die das gleiche von den Blattformen 2 und 3 erweisen, sind noch häufiger[1]).

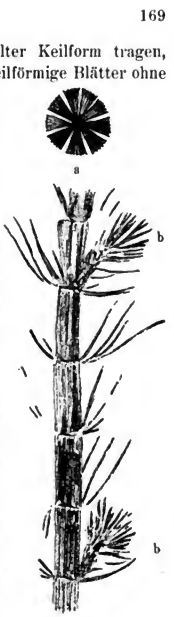


Fig. 57. *Sphenophyllum cuneifolium.* Natürl. Größe.

PH. EBERHARDT hat (1903) den Einfluß der trocknen und der feuchten Luft auf die Tracht und den inneren Bau der Pflanzen untersucht und so eine bequeme Handhabe geboten, diejenigen Merkmale zu erkennen, die für das Leben im Trocknen einerseits und für dasjenige im Feuchten andererseits besonders charakteristisch sind. Wenngleich die Unterschiede längst bekannt waren, so ist doch die experimentelle Feststellung, daß bei den in den beiden ersten Spalten der folgenden Übersicht gebotenen Merkmalen die Trockenheit bezw. die Feuchtigkeit die ausschlaggebenden Faktoren sind, wertvoll. Je nachdem dieselbe Pflanze in trockner, feuchterer oder feuchter Luft erzogen wird, paßt sie sich der Umgebung durch Hervorkehrung bestimmter Eigentümlichkeiten an, die denjenigen xerophytischer oder hygrophytischer Vereine entsprechen. In der dritten Spalte habe ich zum Vergleich die Ausbildung der entsprechenden Merkmale bei den Carbonpflanzen angeführt, soweit EBERHARDTs Charakteristika in Betracht kommen. Andere knüpfe ich dann noch an.

Es zeichnen sich aus:

1. Die in trockner Luft erzogenen Pflanzen durch:	2. Die in feuchter Luft erzogenen Pflanzen durch:	3. Die Carbonpflanzen durch:
a) kleine Gestalt,	a) hohe Gestalt,	a) hohe Gestalt,
b) kleine Blätter,	b) große Blätter,	b) meist große Blätter,
c) großes Wurzelwerk,	c) geringes Wurzelwerk,	c) wohl geringeres Wurzelwerk,

[1]) Die Frage der Vegetationsverhältnisse der Sphenophyllen wird von manchen Forschern in anderem Sinne beantwortet; sie halten die Sphenophyllen für sich stützende Luftpflanzen. Ich habe auf das autochthone Vorkommen in der Plattelkohle von Nyfan aufmerksam gemacht, das mehr für die POTONIÉsche Ansicht spricht. W. G.

Digitized by Google

1. Die in trockner Luft erzogenen Pflanzen durch:	2. Die in feuchter Luft erzogenen Pflanzen durch:	3. Die Carbonpflanzen durch:
d) Behaarung,	d) verminderte Behaarung,	d) seltene Behaarung,
e) kleine Zellen,	e) größere Zellen,	e) große Zellen,
f) schwache Mark- und Rinden-, aber sehr hydroïden-reiche, stark entwickelte Holzteile,	f) stark entwickelte Mark- und Rinden- und dementsprechend schwächere (hydroïden-ärmere) Holzteile,	f) große Mark- und Rindenpartien und meist schwache Holzkörper,
g) ein schwaches Interzellularsystem,	g) große und viele Interzellularen,	g) ein gut entwickeltes Interzellularsystem,
h) viele Sekretionskanäle,	h) weniger entwickelte Sekretionskanäle,	h) wie es scheint, nicht häufige Sekretionskanäle,
i) sklerenchymatische, überhaupt dickwandige Gewebe,	i) Herabminderung der sklerenchymatischen, überhaupt dickwandigen Gewebe,	i) wenig verbreitetes Sklerenchymgewebe,
k) Beförderung der Korkbildung und dadurch u. a. Abstoßung der Rinde.	k) Verzögerung der Korkbildung.	k) wahrscheinlich oft fehlendes Korkgewebe oder wenigstens fehlende Borkenbildung.

Zunächst gebe ich noch einige Zusätze zu Spalte 3, die sich in der Tabelle ohne Beeinträchtigung der Übersicht nicht anbringen ließen.

Zu a. — Die *Baumfarne* und die *Kletterfarne*, die Lepidophyten *(Lepidodendraceen* und *Sigillariaceen* etc.), die *Calamariaceen*, jene Vorfahren unserer Schachtelhalme, ferner die *Cordaitaceen* waren Bäume oder baumförmige Pflanzen.

Zu b. — Die Blätter sind meist groß, zuweilen — wie gewisse Farn- oder Pteridospermenwedel — mehrere Quadratmeter groß.

Zu d. — Eine Behaarung ist nur bei ganz wenigen Arten wie bei *Neuropteris Scheuchzeri* beobachtet. Auch einige wenige, kleinfiedrige *Pecopteris*-Arten und einige Samen sind behaart.

Zu g. — Die in besonderer Größe und Häufigkeit bei Wasser-, Sumpf- und Moorpflanzen vorhandenen Interzellularräume sind ins Innere des Organismus verlegte Räume, die im Dienste des Gasaustausches, zumal der Atmung stehen, als Ersatz für die fehlende Außenatmosphäre der untergetaucht beziehungsweise in einem dichten Boden lebenden Organe. Als Beispiel für das Vorhandensein sehr großer Lücken im Gewebe sei an das häufigste Pflanzenfossil des Palaeozoikums, an *Stigmaria*, erinnert. Die als Wurzeln funktionierenden Appendices von *Stigmaria* besitzen ein namentlich hinsichtlich der Hydroïden äußerst schwaches Leitbündel — ebenfalls ein Hinweis auf das stets hinreichend vorhandene Wasser — das durch ein längslaufendes Parenchymband mit der Rinde verbunden, d. h. gleichsam in einem Hohlzylinder aufgehängt ist; denn

Digitized by Google

Fig. 58A. Querschliff-Mikrophotogramm durch einige *Stigmaria*-Appendices aus dem produktiven Carbon. In 8maliger Vergrößerung. Im Zentrum eines jeden Appendix ein sehr schwaches Leitbündel, umgeben von einer sehr großen Lakune, so daß die Appendices Röhren sind, die der Länge nach von einem bis zur Zentral-Linie reichenden Parenchymband durchzogen werden, das am freien, nicht angewachsenen Rande das Leitbündel trägt.

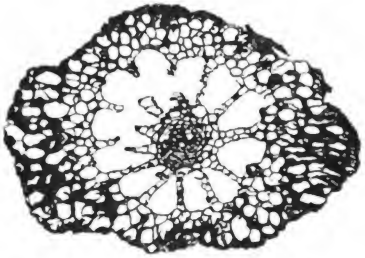


Fig. 58B. Querschliff durch eine *Calamariaceen*-Wurzel („*Astromyelon*") aus dem produktiven Carbon. In 35maliger Vergrößerung. Im Zentrum ein Leitbündel, das von großen Lakunen umgeben wird, die durch Parenchymbänder getrennt werden. (Nach W. C. Williamson.)

Digitized by Google

die zylindrischen Appendices sind röhrenförmig, im übrigen ähnlich wie die „Rhizoïden" von *Isoëtes lacustris* gebaut, die ja ein direkter Wasserbewohner ist. Auf dem Fig. 58A abgebildeten Schliff sind eine Gruppe *Stigmaria*-Appendices durchschnitten, die den angegebenen Bau veranschaulichen. — Auch die unter dem Namen *Astromyelon* bekannten Wurzeln der palaeozoischen *Calamariaceen* (Fig. 58B) ebenso die Wurzeln der als *Psaronien* bekannten palaeozoischen Farnbäume usw. besitzen auffallend lakunöse Wurzeln und deuten daher auf Sumpfpflanzennatur.

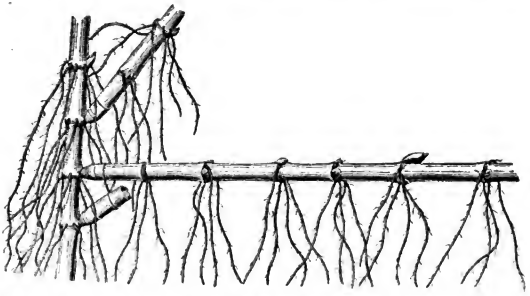


Fig. 59. Schilfrohr-Rhizom, links Etagenbau zeigend, rechts Horizontal-Rhizom mit Vertikalwurzeln.

Zu k. — Eine sehr auffällige Erscheinung bei den Lepidophyten besonders ist es, daß die Epidermalgewebe mit in die Dicke wachsen, daß also selbst in älteren Stämmen noch keine Borkenbildung eintrat, sondern die Stammskulpturen, die Blattpolster und Blattnarben sich mit vergrößern. Erst in höherem Alter scheint bei *Sigillarien* wenigstens an der Stammbasis eine Abstoßung des äußeren Rindengewebes stattgefunden zu haben. Die Verkorkung kann also nur gering gewesen sein.

Es muß außerdem noch auf die folgenden Eigentümlichkeiten hingewiesen werden.

Pflanzen, die regelmäßig in Böden wachsen, die sich nach und nach anhöhen, also zumal Sumpf- und Moorpflanzen, pflegen, sofern sie vieljährig sind — und um solche handelt es sich überwiegend — eine der Örtlichkeit entsprechende Anpassung zu besitzen, nämlich „Etagenbau", der ein Mitwachsen der Pflanzen mit dem Moorboden und überhaupt in Böden, die sich regelmäßig anhöhen, gestattet. Stengel des Schilfrohrs usw. zeigen oft an den übereinander liegenden Knoten, den verschiedenen Etagen, Wurzeln (Fig. 59).

Digitized by Google

Es ist klar, daß eine Pflanze, die schon bei einer geringen Einbettung ihres Stammfußes zugrunde geht, in Mooren dauernd nicht wachsen kann. Wenn wir einen Baum, wie eine Linde, eine Eiche u. dergl., auch eine Kiefer *(Pinus silvestris)*, mit Erde einschütten und so den Fuß des Baumes von der Luft abschließen, so stirbt der Baum ab. Deshalb werden kostbare Bäume bei etwaigen Straßenerhöhungen

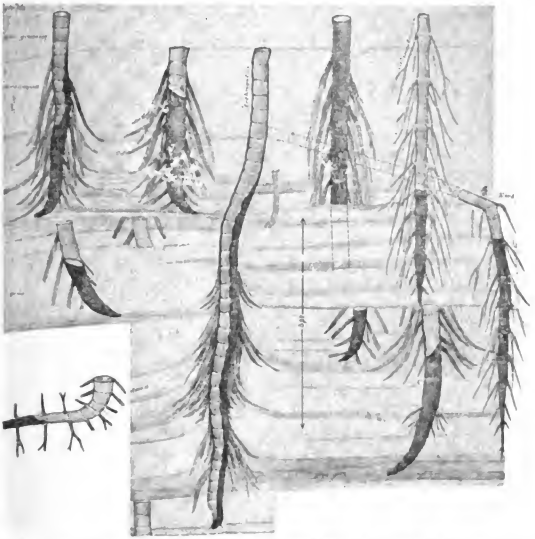


Fig. 60. Unterirdische Organe von *Calamariaceen* (aus der Steinkohlenformation von St. Étienne in Frankreich) mit Wurzeln in den verschiedenen Etagen. ca. $^1/_{60}$ der natürl. Größe. (Nach Grand'Eury.)

ummauert, so daß die Luft hinzutreten kann. Die Pflanzen aber, welche, unbekümmert um eine teilweise Einbettung, in der passenden neuen Höhe wieder Wurzeln zu bilden imstande sind, wachsen weiter. Der Etagenbau besteht also darin, daß die Pflanzen, falls die Umstände es erfordern, d. h. insbesondere falls sie auf Mooren wachsen, immer wieder imstande sind, neue Sprosse zu bilden, die die älteren überragen, oder aber den ursprünglichen Sproß weiterführen und an den nunmehr eingebetteten Stellen Wurzeln bilden. Es ist bemerkenswert, daß auch im Carbon

Digitized by Google

Etagenbau beobachtet wird. So hat GRAND'EURY (1877) Beispiele von *Calamariaceen*-Stämmen und Farnbäumen abgebildet, die in verschiedenen Höhen Wurzeln besitzen: Exemplare in Erstreckungen des Stammes von mehreren Metern (Fig. 60). Bei *Calamariaceen* habe ich selbst den Etagenbau wiederholt beobachten können, weil diese Pflanzen, die Sandboden bevorzugten, in dem Sandstein dann durch den Farbenunterschied desselben gegenüber dem Pflanzenrest besonders deutlich hervortreten.

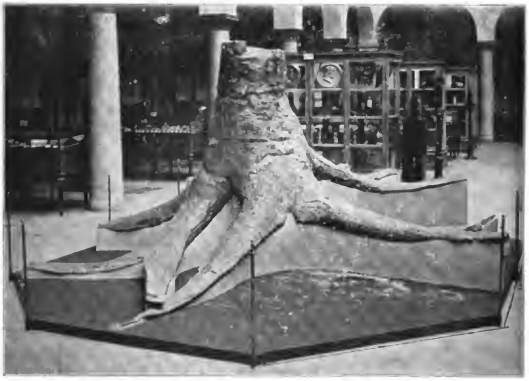


Fig. 61. *Stigmaria* mit Stammstumpf. Vom Piesberg bei Osnabrück. Das Fossil steht jetzt im Lichthof der Geologischen Landesanstalt zu Berlin.

Eine der augenfälligsten Erscheinungen ist die horizontale Ausbreitung der unterirdischen Organe. Zu diesen gehören unter den Fossilien die schon genannten *Stigmarien* (Fig. 61), d. h. die unterirdischen Organe der zu den *Lycopodiales* gehörigen *Lepidophyten (Lepidodendren, Schuppenbäumen* und *Sigillarien, Siegelbäumen)*; auch bei den Cordaïten war es nach GRAND'EURY ähnlich. Die horizontale Ausbreitung der wiederholt gegabelten *Stigmaria*-Zweige ist insofern bemerkenswert, als diese Eigentümlichkeit durchaus an das Verhalten der Wurzeln der in Sümpfen und Mooren wachsenden Bäume erinnert. So zeigt auch unsere Kiefer *(Pinus silvestris)*, sofern sie auf Mooren wächst („Moorkiefer"), denselben Habitus ihres Wurzelwerkes wie die *Stigmaria*-Rhizome (Fig. 62). Ebenso verhalten sich Fichte *(Picea excelsa)* und Moor-Birke *(Betula pubescens)* auf den Zwischen- und Hochmooren. — Pflanzen, die auf so regelmäßig nassem Boden wachsen, wie ihn die

Digitized by Google

Moore bieten, brauchen ihre Wurzeln oder deren Ersatzorgane nicht in größere Tiefen zu senden, wie es die Pflanzen auf trocknen Böden nötig haben. G. VOLKENS macht (1887) darauf aufmerksam, daß Wüstenpflanzen, welche die Regenzeit überdauern, ungemein lange, senkrecht

Fig. 62. Stammstumpf einer Moorkiefer mit Horizontalwurzeln.

hinabgehende Wurzeln entwickeln, die die oberirdischen Teile der zugehörigen Pflanzen um das 20fache (!) an Länge übertreffen können. Fand man doch bei Gelegenheit der Ausgrabung des Suezkanals auf

Fig. 63. Vier mächtige *Nyssa*-Bäume (sonst auch *Taxodium*) mit verbreitertem Stammgrund. — (Nach einer auch bei COULTER veröffentlichten, mir freundlichst von der Direktion des Missouri Botanical Garden in St. Louis übersandten Photographie.)

dessen Sohle Wurzeln, die zu hoch oben auf seitwärts gelegenen Höhen wachsenden Bäumen gehörten. — Wichtiger ist vielleicht noch das Luftbedürfnis, das in größerer Tiefe, in dichtem Torf nicht befriedigt werden kann. — Auch statische Gründe sind wohl für die eigenartige Aus-

Digitized by Google

bildung der Wurzeln größerer und daher schwererer Pflanzen in Sumpflandschaften zu berücksichtigen, da die horizontale Ausbreitung des unterirdischen Stützwerkes besser vor dem Versinken und Umfallen schützt, ebenso wie die horizontale Ausbreitung der Arme oder des ganzen Körpers einen in einem Moor versinkenden Menschen zu retten vermag.

Von gleichfalls physikalisch statischer Bedeutung ist die auffällige, mehr oder minder kegelförmige Verbreiterung des unteren Stammteiles bei Sumpfbäumen, wie besonders bei *Nyssa uniflora* (Fig. 63). Hierdurch gewinnt der Baum in seiner unteren Partie eine besondere Schwere, wodurch er — ähnlich den „Steh-auf-Gläsern" — in vertikaler

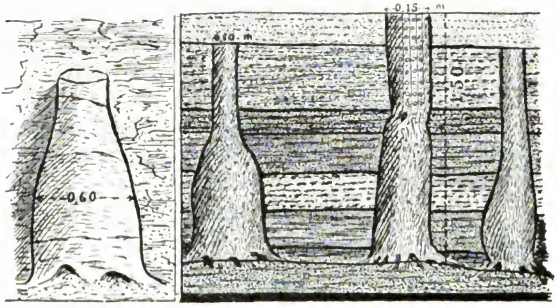


Fig. 64. *Sigillaria*-Stammstücke mit mehr oder minder stark verdicktem Basalteil. (Nach GRAND'EURY.)

Lage gehalten wird. Bei Baumstämmen der Steinkohlenformation kann man die gleiche Vorrichtung beobachten (vergl. die Figuren 64 und 65). Inwieweit diese Eigenheit von Sumpf- und Sumpfmoorpflanzen vielleicht besser zu erklären wäre, beziehungsweise in erster Linie eine andere Deutung zuläßt, wäre noch näher zu untersuchen; denn eine stärkere Verdickung von Stengeln bezw. Stammorganen, soweit sie dauernd oder regelmäßig unter ruhigem Wasser leben müssen, ist häufig. Die Verdickung kommt bei manchen näher untersuchten Fällen zustande durch die Erzeugung eines sehr lakunösen Gewebes zur Schaffung des nötigen, sonst nicht vorhandenen Luftmantels. H. SCHENK bildet z. B. (1889) ein Exemplar der Stande *Jussiaea peruviana* aus dem Tropengebiet Südamerikas ab. Sie ist eine in Tümpeln wachsende, mit Rhizomen im Schlammboden kriechende Pflanze, deren nach aufwärts wachsende Laub-

Digitized by Google

Fig. 65. *Sigillaria*-Stammbasis im *Syringodendron*-Erhaltungszustand. Unten der Stamm breit auseinandergehend. Aus dem produktiven Carbon von Zwickau. (Photographie erhalten von der Verwaltung des Zwickau-Oberhohndorfer Steinkohlenvereins.)

Digitized by Google

sprosse, bevor sie den Wasserspiegel erreichen, verdickt sind, während der über dem Wasserspiegel hervorragende Teil dünn ist. Das Rhizom trägt außerdem nach aufwärts gerichtete Atemwurzeln.

Die Anatomie der Lepidophyten-Stämme (sowohl der *Lepidodendraceen* als auch der *Sigillariaceen*) unterstützt die Auffassung des Vorhandenseins von Luftgewebe. Die Lepidodendren zeigen z. T. lenticellenartige Bildungen unterhalb der Blattnarbe, die Basalteile von *Sigillariaceen* überdies noch große Male, die man wohl mit großen Lenticellen vergleichen kann (Fig. 68). Stücke mit solchen Malen sind als *Syringodendron* bekannt. Man spricht freilich auch sonst von Syringodendren, wenn es sich ganz allgemein um Steinkernoberflächen von *Sigillaria*-Stämmen unter dem inkohlt erhaltenen Teil der Rinde handelt. Die Basalteile der Stämme unterscheiden sich von ihrer Fortsetzung nach oben in ihrer Außenskulptur aber auffallend dadurch, daß eben hier an der Basis die besondere Umgebung, der schlammige oder torfige Boden, die Ausbildung vieler und großer lenticellenartiger Organe begünstigt hat, die den Seitennärbchen der Blattnarben entsprechen, beziehungsweise ihnen homolog sind. Näheres über diese lenticellenartigen Organe auf p. 180.

Die wesentliche plötzliche Verbreiterung der Stammbasen, wie sie viele Lepidophytenexemplare zeigen, ist von GRAND'EURY (1890) namentlich in dem angegebenen Werk am besten zur Anschauung gebracht worden. Figur 64 gibt einige Beispiele. Es ist überraschend, daß die Palaeobotaniker bisher noch nicht versucht haben, diese doch gewiß eigentümliche Erscheinung durch Vergleiche mit ähnlichen Vorkommnissen in der Gegenwart zu erklären. Um in der Deutung der basalen Stammverdickungen sicher zu gehen, wäre eine genauere Kenntnis von *Nyssa uniflora* sehr wertvoll. In der botanischen Literatur habe ich aber über die Stammanschwellungen dieser Spezies nur das Folgende bei SAMUEL MONDS COULTER (1904) finden können. Er sagt: Wenn *Nyssa* in dem Sumpf älter wird, findet man, daß der untere Teil des Stammes fortfährt in die Dicke zu wachsen, wodurch bald eine kuppelförmige Basis entsteht, deren äußerer Anblick ganz verschieden ist von der kegelförmigen Basis der *Taxodium distichum*-Stämme, die sich an gleichen Wohnorten befinden. Der erwähnte Prozeß ist begleitet von dem Absterben des Baumgipfels und des Stamminnengewebes, bis der Baum nur noch einer hohlen Kuppel gleicht, deren oberer Teil gewöhnlich verbrochen ist, abgesehen von einigen verbleibenden Zweigen, welche eine geringe Beblätterung tragen . . . . . Bis jetzt hat eine besondere Funktion für die basale Stammverdickung nicht nachgewiesen werden können. Wo der Wasserstand niedrig ist, sind die Stammbasen nur schwach verbreitert. Fehlt es ganz, so ist der Stamm bis unten hin gleichmäßig zylindrisch ausgebildet.

Digitized by Google

Man könnte außer den angegebenen Beziehungen noch daran denken, die Stämme seien, im Bestreben sich den Sonderverhältnissen nach Möglichkeit anzupassen, veranlaßt, ihre Stammbasis wesentlich zu vergrößern, um der Atemfunktion eine größere Fläche zu gewähren; aber nach den obigen Äußerungen COULTERS scheint *Nyssa uniflora* dem Moorleben noch ebenso wenig vollständig angepaßt zu sein, wie unsere Moorerle *Alnus glutinosa*. Mag dem sein, wie ihm wolle, so lernen wir doch aus dem Verhalten von *Nyssa uniflora*, *Taxodium*

Fig. 66. Sumpf-Cypressenmoor aus dem südlichen Nordamerika. Im Mittelgrunde rechts und links ist auf die großen, kegelförmigen Pneumatophoren zu achten. (Nach E. DECKERT.)

distichum, *Alnus glutinosa* und anderen in Sümpfen und Mooren lebenden Pflanzenarten, daß sie durch Bildung reichlicher Wurzeln, durch Vergrößerung ihrer Oberfläche, durch Bildung von Luftgewebe an ihrer Basis, und hier auch durch auffällige Verbreiterungen, die in auffälligem Gegensatz stehen zu dem fast rein zylindrischen Bau der Gesamtstämme von der Basis bis zum Gipfel bei Pflanzenarten, die trockne, jedenfalls nicht dauernd vernäßte Böden bewohnen, daß es sich eben in den aufgezählten Merkmalen um solche von Moor- und Sumpfpflanzen handelt. Wenn wir daher die auffälligen basalen Stammverdickungen bei Pflanzen finden, deren Wohnort wir nicht mehr genau nachprüfen können, so ist

Digitized by Google

der Schluß berechtigt, daß sie ebenfalls Sumpf- oder Moorbäume sein oder gewesen sein dürften. Diese Folgerung ist demnach auch für unsere Lepidophyten mit basalen Stammanschwellungen gültig.

Auch *Calamariaceen* mit spindelförmigen auffälligen Stammanschwellungen an ihrer Basis, bildet GRAND'EURY (1890) ab. Wie daraus erhellt — nämlich aus der Calamitenskulptur der dargestellten Steinkerne, die ja eine Schlammausfüllung des Markkörperraumes sind — wird hier die Verdickung nicht durch eine mächtigere Ausgestaltung des Holzkörpers beziehungsweise der Rinde erreicht. Die sehr stark vergrößerte zentrale Lufthöhlung des Stammes beziehungsweise der sehr lakunöse Markkörper mag daher in diesem Falle als Luftraum gedient haben. Auch hier läßt sich GRAND'EURY, dem ja rein botanische Beziehungen überhaupt ferner lagen, auf eine Deutung nicht ein.

Es liegt nahe, bei dem häufigen Auftreten von Pneumatophoren, d. h. cylindrischen, oft zugespitzten senkrechten Auswüchsen der Horizontalwurzeln von Pflanzen, die in sauerstoffarmen Schlammböden wurzeln, nach solchen Organen auch im Carbon und bei fossilen Moorbäumen überhaupt zu suchen. Bei den Braunkohlenbäumen, die ja z. T. mit dem durch solche Organe ausgezeichneten *Taxodium distichum* identisch sind, hat man solche noch nicht gefunden, was recht verwunderlich ist und auf etwas andere ökologische Bedingungen der Taxodien in den Braunkohlenmooren hinweisen könnte als der Baum heute hat. Aber auch im Carbon sind derartige Gebilde noch nicht sicher nachgewiesen.

Eigentümliche Sigillaria-Kegelstämme hat GOLDENBERG (1855) angegeben. Der größere der beiden in Frage kommenden Steinkerne ist $5^1/_2$ m lang und gänzlich unverzweigt. Sie zeigen ganz andere Stammformen, als sie sonst bei Bäumen üblich sind. — GOLDENBERG sagt: „So wurde ein förmlicher Sigillarienwald aufgeschlossen . . . . Die meisten dieser Sigillarien . . . . hatten unten 2—3 Fuß im Durchmesser und endigten oben in einer abgerundeten Spitze, ohne irgend eine Spur einer Verästelung zu verraten." Einen solchen Stamm bildet der genannte Autor Tafel B, Fig. 13 in $^1/_{50}$ der natürlichen Größe ab. Er muß an seinem Grunde einen Durchmesser von etwa 2 m, in seiner Mitte von über $1^1/_2$ m aufgewiesen haben. Er erhebt sich durchaus in Form eines Zuckerhutes bis zu der schon angegebenen Höhe von $5^1/_2$ m.

Neuerdings — ich habe bei dem Interesse, das die Kegelstämme haben, sehr danach im Saarrevier gefahndet — habe ich dann noch kleinere, bis kaum spannenlange Exemplare kennen gelernt, die bei ihrer sehr schnellen Verjüngung nach oben noch auffallender sind (Fig. 67). Die Kegelstämme GOLDENBERGS tragen Male, die sie als *„Syringodendron"* charakterisieren. Die diesen Malen entsprechenden Organe nehmen mit dem Dickenwachstum der Stämme an Größe zu — sie können

Digitized by Google

schließlich bis über 2 cm lang sein —, denn sie sind um so größer, je dicker die Stammreste sind, die die Male tragen. An solchen besonders dicken Resten sind nun Blattnarben auch dann nicht mehr zu beobachten, wenn noch die Außenrinde inkohlt erhalten ist (vergl. hierzu das schon vorn p. 178 Gesagte). Dies zeigen z. B. *Sigillaria*-Reste aus dem oberen produktiven Carbon von Wettin, welche die untersten Stammteile von *Sigillaria Brardi* sein dürften, da eine andere bestimmbare *Sigillaria* mit diesen Stücken zusammen nicht

Fig. 67. Pneumatophore(??) einer *Sigillaria*(?) von der Steinkohlengrube Reden im Saarrevier. Steinkern, dem vorn in der Mitte noch ein Teil der kohligen Bedeckung anhaftet.

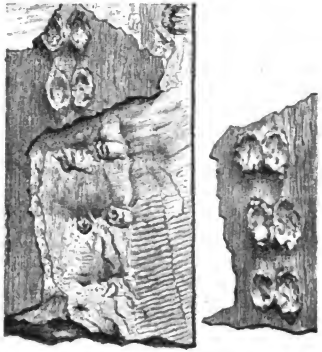


Fig. 68. „*Syringodendron*." Oberflächenstück von der Basis eines Stammes von *Sigillaria Brardi* in $^1/_3$ der natürl. Größe. Die inkohlt erhaltene Rinde — außen mit paarigen, sehr großen Atmungsöffnungen — ist zum Teil aufgehoben und rechts neben das Stück gelegt worden, um die (nach links umgelegten) Steinkerne der unter der Rinde vorhandenen Transpirationsgänge („Parichnos"-Stränge) zu zeigen.

vorkommt. Es handelt sich also um großmalige *Syringodendron*-Oberflächen. Die die Steinkerne (Fig. 68) bedeckende inkohlte Rinde zeigt nun natürlich auf ihrer Innenfläche die *Syringodendron*-Skulptur der Steinkerne im Negativ. Die Außenflächen, Fig. 68 rechts, tragen aber keine Blattnarben wie sonst die *Sigillaria*-Stamm-Außenflächen, Fig. 69, sondern zeigen ebenfalls *Syringodendron*-Skulptur.

Die unteren Stammteile älterer Bäume gewinnen demnach auf ihren Außenflächen eine besondere Ausgestaltung durch Ausbildung der Seitennärbchen der Blattnarben als große Atmungsöffnungen, und dies ist vielleicht als Anpassung an das Moorleben der Bäume zu verstehen.

Digitized by Google

Es ist nicht recht ersichtlich, welche Funktion sonst für diese Male angenommen werden könnte, deren Bevorzugung in der Entwicklung der Stammbasis auffällt. Die offenkundige weitere Ausbildung der Male, nachdem die dazu gehörigen Blattspreiten abgefallen sind, drängt zu der Annahme, daß damit ihre Funktion nicht erloschen ist, sondern sich in der angedeuteten Weise nutzbar erhält. Die Anatomie des Gewebes, welches die Male hervorbringt, unterstützt nämlich ihre Deutung als Atmungsöffnungen (Organe des Wasser- und Gasaustausches der Pflanze), denn sie entsprechen den „Seitennärbchen" der Blattnarben. Diese Seitennärbchen aber sind die Querschnitte von sehr lakunösen Gewebesträngen, die sich, je einer rechts und links von der Blattspur, durch das Blatt ziehen und in den Stamm eintreten. Diese Transpirationsstränge, wie wir sie nennen wollen, stehen wohl mit zwei Spaltöffnungszeilen auf der Unterseite der Blätter in Verbindung, und nach dem Abfall des Blattes würden dann die Seitennärbchen die Verbindung nach außen aufrecht erhalten und an der Basis der Stämme sogar verstärken. An gut erhaltenen Malen von *Syringodendron* sieht man gelegentlich eine gepünktelt-körnige Oberfläche, die sehr stark an die „Staubgrübchen" erinnert, jene bekannten Organe an Stämmen und Blattstielen von *Cyatheaceen* und *Marattiaceen*, die den Lenticellen entsprechen. (Vergl. POTONIÉ-GOTHAN, Lehrbuch 2. Aufl. 1919, S. 195 und bei *Sigillaria*).

Die Transpirationsstränge und das sie in den Stamm hinein fortsetzende Gewebe sind sicherlich Durchlüftungsgewebe, Aërenchym im weiteren Sinne. Daß dies bei Lepidophyten der Fall ist, habe ich selbst (1893) zu begründen versucht.

Die ziemlich glatte Rinde, die nach KOORDERS (vorn p. 158) für die Bäume des tropischen Sumpfflachmoorwaldes bemerkenswert ist, ist für die Bäume des Carbons ganz besonders auffällig. Hier ist eine Borkenbildung bisher überhaupt noch nicht sicher bekannt geworden. Borkenbildung hängt mit der wesentlichen Herabsetzung der Transpiration zusammen, was für Gewächse auf stets nassem Boden in einem Gebiete ständig warmen Klimas kein Bedürfnis ist. G. HABERLANDT z. B. sagt: „Wie sehr eine vertrocknete Gewebeschicht, mag sie früher dem saftigsten Parenchym angehört haben, die Transpiration herabsetzt, beobachten wir an jedem angeschnittenen Apfel, dessen Transpirationsverluste täglich abnehmen". Da ist es gewiß sehr auffallend, daß sich auch die dicken Stämme der Carbonpflanzen durch eine überraschend glatte Rinde auszeichnen, die im allgemeinen intakt ihre ursprüngliche, mit der Dickenzunahme mitgewachsene Epidermis besitzen. Wenn die Borkenbildung eine spätere Anpassung ist, und das ist wahrscheinlich, so hatten die Carbonmoorpflanzen vielleicht noch weniger Veranlassung diese Anpassung zu entwickeln.

Haben wir gesehen, daß von den drei Lepidophyten-Familien, d. h. von den *Lepidodendraceen*, *Bothrodendraceen* und *Sigillariaceen*, die erst-

Digitized by Google

genannte durch ihre Atmungsöffnungen auf den Blattpolstern unter den Blattnarben, Fig. 70, und die letztgenannte durch die *Syringodendron*-Male, die wir also für sekundäre Atmungsöffnungen[1]) halten möchten, hinreichend für einen Verkehr des Stammes mit der Luft der Außenwelt gesorgt haben, so fragt es sich, wie die Bothrodendraceen mit ihren sehr kleinen und dabei auch noch weitläufig stehenden Blattnarben diesen notwendigen Verkehr aufrecht erhalten haben. Da ist darauf hinzuweisen, daß die epidermale Oberfläche der Stämme der Arten dieser Familie dicht mit Punkten besetzt ist, die in umgrenzten Feldern stehen können. Im Rahmen dieser Auseinandersetzung könnte man wohl daran denken, man habe es hier in diesen Punkten mit den für Sumpf- und besonders Moorpflanzen notwendigen reichlicheren Verkehrsöffnungen zu tun. Übrigens treten Bothrodendraceen im produktiven Carbon gegenüber den Sigillariaceen und Lepidodendraceen sehr stark zurück.

Fig. 69. Zwei Blattpolster einer *Sigillaria* mit je einer Blattnarbe. In jeder Narbe 3 „Närbchen“: das zentrale ist der Leitbündelquerschnitt, die 2 seitlichen („Seitennärbchen“) sind die Querschnitte von Transpirationssträngen.

Fig. 70. Ein Blattpolster von *Lepidodendron* in ca. $^1/_1$. n = Blattnarbe mit der Leitbündelabbruchstelle l und den Seitennärbchen s. a = Atmungsöffnungen.

Bezüglich des Vorhandenseins von Luftwurzeln bei Carbonpflanzen ist jedoch weniger Sicheres zu sagen. Es ist möglich, daß Wurzeln, in höheren Partien von Stämmen, die vorn als Hinweis auf den Etagenbau gedeutet wurden, zum Teil Luftwurzeln waren. Bei Farnstämmen wie den *Psaronien* des Rotliegenden ist dies — bei der Ähnlichkeit ihres Luftwurzelmantels mit dem unserer heutigen von einem solchen umhüllten Baumfarne, wobei allerdings bei den *Psaronien* der Besitz eines Bindegewebes zwischen den Wurzeln zu bedenken ist — wohl anzunehmen; aber es ist in anderen Fällen zweifelhaft, ob man Etagen- oder Luftwurzeln vor sich hat. Ein auffälliges, vereinzeltes Vorkommen von Gebilden, die physiologisch mit den üblichen Wurzeln

[1]) „Sekundäre“, weil sie erst nach dem Blattabfall aus den querschnittlich der Luft geöffneten Transpirationssträngen entstehen.

Digitized by Google

zusammengehören, ist aber vielleicht nunmehr besser aufgeklärt. Ich meine die Reste von *Sigillaria Brardi*, die unter ihren Blattnarben eine oder zwei Narben von der Gestalt derer für *Stigmaria*-Appendices besitzen. Früher (1899) habe ich über diese Narben gesagt: „Ich halte sie für *Stigmaria*-Narben, die sich an umgestürzten, noch lebenskräftigen Stämmen durch den Reiz der Bodenfeuchtigkeit entwickelt haben, ebenso wie sich bei lebenden Pflanzen oftmals Adventivwurzeln und zwar an morphologisch genau den gleichen Orten, also unter den Narben von Laubblättern, entwickeln können." Es sind bis jetzt nur wenige Stücke von *Subsigillaria Brardi* mit solchen *Stigmaria*-Narben bekannt geworden. In unserem Zusammenhange aber gewinnt der Fall noch eine andere Bedeutung, da man nunmehr auch daran denken muß, diese am oberirdischen Stamm sitzenden Appendices könnten gelegentlich auch als Organe entstanden sein, die wie Luftwurzeln funktionierten. Haben wir doch auch in unserer Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) einen Baum, der in stagnierendem Boden ebenfalls nur gelegentlich Luftwurzeln zu bilden vermag. An Calamiten hatte GRAND'EURY früher schon das Vorkommen von Luftwurzeln angenommen, doch ist die Angelegenheit ziemlich unsicher.

Weisen nun auch die vorherrschenden Eigentümlichkeiten der Carbonpflanzen, wenn wir sie mit den heutigen Pflanzen vergleichen, in ihrem Bau auf ihre Moorpflanzennatur hin, so ist doch ein Vergleich der Bestandteile der Steinkohlenformation mit denjenigen rezenter Moore floristisch nicht von allzu großem Wert, da die Arten gänzlich von den heutigen abweichen. Immerhin ist hervorzuheben, daß die Gruppen und Familien, zu denen die Steinkohlenpflanzen gehören, sofern sie auch heute noch lebende Vertreter haben, zu solchen zählen, die vorwiegend eine feuchte Atmosphäre verlangen wie die *Farne*, die *Equisetales* und *Lycopodiales*.

Das Titelbild (Fig. 1) soll eine Anschauung davon geben, wie ein Carbonmoor des mittleren produktiven Carbons ausgesehen haben könnte; denn nur feststehende Einzeltatsachen haben mich zu dem Bilde geführt, so daß der Gesamteindruck mit Vertrauen als ein solcher genommen werden darf, der der vergangenen Wirklichkeit so nahe kommt, als uns unsere derzeitigen Kenntnisse einen Einblick gestatten. —

Anders als im Carbon steht es nun aber mit der Tertiärformation hinsichtlich eines Vergleichs ihrer Flora mit derjenigen heutiger Moore, da diese Formation viele Pflanzen-Gattungen und -Arten besitzt, die heute noch leben. Wir können uns daher ein recht genaues Bild davon machen, wie die jetzt fossilen Waldmoore, z. B. unseres Miocäns, ausgesehen haben. Haben wir doch heute noch und zwar in der atlantischen Niederung des südlichen Nordamerika sehr große Moore mit einer Pflanzen-

Digitized by Google

gemeinschaft, deren Arten sogar zum erheblichen Teile dieselben sind wie sie zur Miocänzeit unsere Moore bevölkerten. Unsere Miocänmoore können daher nicht wesentlich anders ausgesehen haben als die Cypress-Swamps (= Cypressensümpfe) Nordamerikas, von denen unser Bild, Fig. 66, eine Anschauung gibt; sie bilden, sagt E. DECKERT (1904, p. 263), „mit ihrem herrlichen Baum- und Strauchwuchse und ihrem Gewirr von Schling- und Kletterpflanzen die ästhetischen Glanzpunkte der Niederungslandschaft". „Der gewaltige Artenreichtum der nordamerikanischen Flora ist vor allem darauf zurückzuführen, daß darin eine große Zahl mitteltertiärer Pflanzen erhalten geblieben sind, die in Europa ausstarben, darunter die *Magnolien*, der *Liquidambar*, der *Sassafras*, die *Catalpa*, die *Sumpfcypresse (Taxodium)* u. a. Die Eiszeit richtete in Nordamerika keine so großen Verheerungen in der Pflanzenwelt an wie in Europa, weil Nordamerika infolge seiner andern Bauart, besonders infolge des Mangels ostwestlich gerichteter Gebirge, den Pflanzen den Rückzug nach Süden besser ermöglichte. Das hat ASA GRAY sehr schön und überzeugend auseinandergesetzt" (l. c. p. 76, 77).

Betrachten wir z. B. die Flora des miocänen Senftenberger Braunkohlenfeldes, von der P. MENZEL (1906) eine gute Bearbeitung geliefert hat. Auch er sagt von der Flora des Gebietes: „Feuchten Boden beanspruchen *Weiden*, *Pappeln*, *Erlen* und *Haselnuß*, und die Sumpfcypresse, *Taxodium distichum*, ... läßt mit den ihr vergesellschafteten Arten das Bild eines Waldmoores im Senftenberger Gebiete zur Miocänzeit vor unseren Augen erscheinen, das, wie POTONIÉ hervorhebt, den Küstensümpfen (swamps) der atlantischen Südstaaten Nordamerikas habituell gleich war". Die Carbonmoore sind mit den erwähnten Swamps vielleicht auch zu vergleichen, wie das seinerzeit schon LESQUEREUX wollte.

Es soll jedoch hier nicht versäumt werden, darauf hinzuweisen, daß neuere Untersuchungen die Möglichkeit eröffnen, daß die Braunkohlenmoore in Wirklichkeit trockener waren, als es bei dem gewöhnlichen Vergleich mit den Taxodium-Swamps den Anschein hat. Hierfür spricht einmal das bisher vollständige Fehlen der Taxodium-„Knie" (Pneumatophoren, s. p. 180). Es ist bekannt, daß der heute auch bei uns häufig als Parkbaum gepflanzte Baum nur in feuchtem Gelände diese Organe ausbildet, auf trockneren dies jedoch unterbleibt. Man kann nun zwar meinen, daß der tertiäre Baum, der ja sonst mit der lebenden Art so gut wie ganz übereinstimmt, noch nicht imstande war, solche Organe zu bilden, doch ist das eine Hypothese, die wenig für sich hat. Man wird vielleicht einmal solche Knie im Tertiär finden, und dies würde dann nicht im Sinne einer neueren Annäherung an die Swamp-Natur der Braunkohlenmoore ausgenützt werden können, sondern im Gegenteil würde das Fehlen der Knie auf im allgemeinen trockenen

Digitized by Google

Standort gedeutet werden können oder müssen. Hierzu kommt aber noch, daß allem Anschein nach neben Taxodium die *Sequoia Langsdorffi*, der lebenden *S. sempervirens* entsprechend, ebenso häufig als Braunkohlenmoorkonifere auftrat. Der Herausgeber hat wenigstens unter den Senftenberger Braunkohlenstämmen diese mindestens ebenso häufig als die Taxodien gefunden. *Sequoia sempervirens* ist heute überhaupt kein Moorbaum mehr, sondern Bewohner feuchter Berghänge und wächst durchaus nicht auf stark vernäßtem Boden. Sieht man sich weiterhin die dikotyle Baumflora der Braunkohlen von Senftenberg an, die man doch ebenfalls als Braunkohlenflora in Anspruch nimmt, so kommt man zum selben Resultat. Es hat allem Anschein nach vielleicht eher größere Luftfeuchtigkeit als Bodennässe eine Rolle gespielt. Man vergl. hiermit die Anschauungen, die hierüber KRÄUSEL (1920) äußert, der zu ganz ähnlichen Resultaten gekommen ist und diese wohl zuerst offen ausgesprochen hat.

Wir bedürfen nach all dem Gesagten zur Erklärung der Carbon- und Tertiärmoore nicht der Annahme kälterer Perioden oder etwa genereller Eiszeiten. Die etwa vorhandenen Eiswirkungen u. dergl. sind wohl einfacher durch die Annahme zu verstehen, daß auch damals hohe Gebirge mit Schnee und Eis bedeckt waren und daher auch damals hohe Gletscher lokal im Vorlande Moränen, Schliffe und Schrammen erzeugt haben. RAMANN (1896) folgert direkt aus der zeitlichen Verbreitung der Kohlen, „daß auf der Erde zwei langdauernde Perioden sinkender Temperaturen geherrscht haben, deren erste in die Carbonzeit fällt und mit der Dyas beendet wurde, und deren zweite die spätere Tertiärzeit umfaßt und, soweit erkennbar, mit der Jetztzeit abzuschließen scheint". F. SOLGER (1905) faßt diese Ansicht in der folgenden Weise zusammen: „Jede der großen Kohlenperioden bezeichnet eine Zeit der Ausdehnung kühlerer Klimate, die Abkühlung der Erdatmosphäre. Den tiefsten Stand der Temperatur bezeichnet jedesmal eine Eiszeit, dort die carbonische, hier die diluviale, und beide Male verschwindet nach der Eiszeit allmählich die Kohlenbildung wieder als Zeichen erneuten allgemeinen Steigens der Erdoberflächen-Temperaturen. Dabei erscheint unsere heutige, relativ torfreiche Zeit als der Ausklang der Braunkohlenzeit". Diese Anschauungen würden sich der Annahme eines feucht-warmen Klimas für die Steinkohlenmoore durchaus anpassen. Die Wahrheit dürfte hier wie so häufig zwischen zwei Extremen liegen: Die Carbonmoore hatten weder ein kaltes noch ein tropisch heißes Klima, sondern ein feucht-warmes, zweifellos frostfreies und wahrscheinlich ein solches mit geringeren jährlichen Schwankungen, was mit der Annahme eines ozeanischen Klimas in Einklang steht.

Anm. (W. G.): POTONIÉ hat in diesem Abschnitt noch verabsäumt, auf die in der Literatur wiederholt angeführten xerophytischen Merk-

Digitized by Google

male gewisser Carbonpflanzen einzugehen. Es ist nämlich unleugbar, daß insbesondere die fleischig-dicken Blätter vieler Lepidophyten mit rhombischem Querschnitt und den vertieften Riefen der Unterseite, in denen die Spaltöffnungen versenkt sind, einen durchaus xerophytischen Eindruck machen. Daneben kommt noch die Lederigkeit anderer Blätter (*Neuropteris*, von der man sogar noch Epidermispräparate erhalten hat, *Cordaites* u. a.) in Frage. Die Blätter von *Astrophylliten* waren ebenfalls wie die Lepidophyten dick-nadelförmig, nicht spreitig-flächig. U. a. haben z. B. P. BERTRAND und neuerdings CARPENTIER (1920) auf diese übrigens allgemein anerkannte Tatsache hingewiesen. Letzterer hat zur Erklärung einen noch verbleibenden Salzgehalt des Bodens nach dem Rückzuge des Meeres in Anspruch genommen, was aber, wenn überhaupt, nur für die paralischen Becken diskutabel wäre. Dieses Nebeneinandervorkommen anscheinend xeromorpher Baumflora mit hygromorphen Typen ist aber durchaus kein Widerspruch, da die mesothermen — subtropischen und temperierten — Regenwälder gerade durch diese beiden Merkmale charakterisiert sind, wie man z. B. in „WARMING-GRAEBNERS Lehrbuch der ökologischen Pflanzengeographie" lesen kann. Man weiß noch nicht, worauf die Xeromorphie — Lederigkeit der Blätter — der Bäume dieser Regenwälder (z. B. Chile, Patagonien, Neuseeland), die eine ganz hygrophile — d. h. Luftfeuchtigkeit in hohem Maße beanspruchende — Unterflora besitzen, zurückzuführen ist; um so mehr erübrigen sich Spekulationen darüber für die Carbonflora. Man kann sehr zufrieden sein, ein physiologisch so vollkommenes Analogon der Carbonwälder heute noch zu besitzen; es ist merkwürdig genug, daß, obwohl z. B. DANNENBERG schon auf die subtropischen Regenwälder hingewiesen hat, noch niemand diese Analogien genauer erkannt hat (vergl. POTONIÉ-GOTHAN, Lehrb. Schlußteil).

Die hervorragendsten Moorbildungs-Zeiten: Carbon und Tertiär

Da auf der Erde, sobald überhaupt einmal die Bedingungen für Humusbildungen vorhanden waren, stets irgendwo Gelegenheit zu ihrer Erhaltung gegeben sein mußte, so führen alle Sedimentär-Formationen (Humus-)Kohle. Außer dem Obercarbon und dem Tertiär ist es besonders die Juraformation, auch die Kreideformation, die reichlicher Kohle besitzt. Daß aber die beiden erstgenannten Formationen so hervorragend viele und ausgiebige fossile Humuslager aufweisen — sie haben ja danach ihre deutschen Namen Steinkohlen- und Braunkohlen-Formation erhalten — verlangt noch eine besondere Erklärung.

Die Gebirgsbildung hat, wie wir wissen, nicht gleichmäßig stattgefunden, sondern es lassen sich Zeiten verhältnismäßiger Ruhe gegenüber Zeiten stärkerer Gebirgsbildung unterscheiden. Solche Zeiten sind

Digitized by Google

nun gerade diejenigen der Carbon- und der Tertiärperiode, womit offenbar das reichliche Vorhandensein der fossilen Moore zusammenhängt. Die hohen entstandenen Gebirge waren die ständigen Quellen des Wassers, das die Täler und Senkungsgebiete erfüllte, wo besonders oft die Bedingungen für die Entstehung von Mooren gegeben waren, ebenso wie am Fuße der Gebirge und vor denselben, genau so wie heute. Auch am Fuße und im Vorlande des skandinavischen Höhenzuges sind Moorbildungen bemerkenswert verbreitet, ebenso am Nordrande der Alpen.

Wo die fossilen Moore innerhalb der Gebirgsfalten entstanden sind, haben wir es mit „limnischen" (kontinentalen) Kohlenrevieren (Binnenbecken) ohne Einlagerungen mit Meerestieren zu tun. Wo sie jedoch vor den Gebirgen lagen, und zwar so, daß der Meeresstrand nicht gar zu entfernt lag, sind die Reviere „paralische" (Küstenland-Bildungen oder doch meeresnahe Reviere) mit Meerestieren. Die Becken von Niederschlesien, Zwickau, an der Saar, in Zentral-Frankreich z. B. sind limnische, die — wenn Tiere gefunden werden — nur Land- oder Süßwassertiere bergen. Die Becken von Oberschlesien, an der Ruhr, in Belgien, England und Schottland, auch des appalachischen Gebietes usw. hingegen sind paralische, wie sich aus dem Vorhandensein von Meerestieren und von solchen, die brackische Gewässer belebten, ergibt. — Die Steinkohlen-führenden Carbon-Horizonte scheiden sich danach in eine kontinentale und eine Meeresstraud-Facies.

Auch die heutigen Moorablagerungen können wir natürlich in gleicher Weise scheiden, denn gerade sie geben uns Aufschluß über die gleichen Erscheinungen in früheren geologischen Formationen. Wo Torflager durch Unterspülung, Zusammensinken der Schichten oder geringe Senkungsvorgänge tektonischer Art nur so gelinde unter den Wasserspiegel des Meeres geraten, daß sie noch deutlich sichtbar bleiben, sind sie zur Veranschaulichung des Gesagten besonders geeignet (Fig. 71 u. 72).

Wo rezente Moore unter den Meeresspiegel geraten oder geraten waren, haben wir genau, wie gelegentlich bei der Meeresstrand-Facies des produktiven Carbons, autochthone Torflager getrennt oder überdeckt von Meeressedimenten. Als Beispiele mögen folgende Profile dienen:

Im Nordosten der Bucht von Morlaix (Finistère) findet sich (L. Cayeux 1907)

Mariner Sand

Flachmoortorf mit *Arundo phragmites.*

Mariner Sand

Flachmoortorf mit *Arundo phragmites.*

Digitized by Google

Fig. 71. „Submarines" Torflager der Nordsee: Strand von Sylt. (Nach J. REINKE.)

Fig. 72. „Submarines" Torflager der Ostsee: Strandjvon Mecklenburg. (Nach E. GEINITZ.)

Digitized by Google

Weiter östlich bei Watten (Pas-de-Calais) in der flachen „maritimen Ebene“ ist 3 m über dem Meeresspiegel (also nachträglich wieder gehoben) das Profil zu beobachten (GOSSELET u. LADRIÈRE 1893, s. auch den Exkursionsbericht von F. WAHNSCHAFFE 1893 p. 176)

Marine Sedimente { Sand mit *Cardium edule*, 1 m / Ton „ *Hydrobia ulvae*, 1 m

Torf

Mariner Sand mit *Cardium edule*.

Noch weiter östlich, im Mündungsgebiet der Schelde, haben wir:

Zu oberst jüngstes Sediment mit marinen Tierresten

1—1,50 m Torf

1—4 m Sand und Ton mit marinen Tierresten.

usw.

Außer Meerestieren in Sedimenten zwischen Kohlenlagern spricht für die Nähe des Meeres auch eine Beobachtung, die CH. BARROIS (1908) gemacht hat, nämlich das Vorhandensein einer Breccie mit kantigen (also nicht abgerollten) Gesteinsstücken im Nord-Kohlenrevier Frankreichs. Das deutet bekanntlich auf die Herkunft der Stücke von einem anstehenden Gestein aus nächster Nähe hin, und der genannte Autor gibt als heutigen Fundort eckiger Gesteinsstücke eine ruhigere Felsen-Steilküste am Meere an der Mündung des Tréguier an.

Die am Ende des Culms besonders stark einsetzende und sich dann langsamer fortsetzende Gebirgsbildung schuf Grabensenkungen, die Meereseinbrüche und für Moore günstige Strandzonen sowie die Bildung mächtiger Täler für kontinentale Moore begünstigte. Wenn z. B. devonische Schichten, wie im Saar-Revier, so viele Sedimente für das produktive Carbon hergegeben haben, so mußten diese Schichten vorher stark emporgebracht worden sein.

Wo Landsenkungen stattfanden, die mit Perioden der Gebirgsbildung in großem Maßstabe verknüpft sind, war die Moorbildung ganz besonders begünstigt. Wir haben gesehen, daß Küstenländer für Moorbildungen oft treffliche Bedingungen liefern (Marsch- und Delta-Moore). Befindet sich ein Küstenstrich in Senkung, so können gewaltige Länderstrecken nach und nach von der Moorbildung ergriffen werden und so fossile Humusablagerungen schaffen, die eine gewaltige horizontale Ausdehnung besitzen. Sehr mächtige Flachmoore können nur in Senkungsgebieten entstehen. Dort braucht die Mächtigkeit eines Moores nur eine Grenze zu finden, nämlich in dem Aufhören des Senkungsvorganges. Vollzieht sich die Senkung in gleichem Schritt mit der Wachstumszunahme, so

Digitized by Google

werden keine sedimentären Mittel eingeschaltet. Geht sie langsamer, so nimmt das Moor an Mächtigkeit nur langsam zu, bezw. erhöht sich unter den heutigen Verhältnissen bei uns als Zwischen- und sodann als Hochmoor über den Grundwasserspiegel. Geht die Senkung schneller vor sich, so werden Ton- und Sandlager eingeschaltet, oder es treten lange Zeiten allochthoner Sedimentierung ein, die bei günstigeren Bedingungen wieder von Moorbildungen abgelöst werden können, und so fort. Wir erhalten dann ein Profil mit vielen Kohlenlagern in mächtigen Ton-, Sand- und Konglomerat-Schichten wie im produktiven Carbon.

Bei diesem steten Kampf zwischen Land und Wasser ist es begreiflich, wenn in den Zwischenmitteln bald Meerestiere vorkommen, bald Tiere brackischer, bald solche süßer Gewässer, oder sich Wassertiere zuweilen überhaupt nicht finden. So haben wir im Ruhrrevier über mehreren Kohlenlagern (u. a. Finefran und Katharina, neuerdings auch noch in der oberen Gasflammkohle) marine, in anderen Horizonten Brack- und Süßwassertiere.

Nach dieser Darlegung ist der Einwand nicht stichhaltig, der die Steinkohlen- oder Braunkohlenlager deshalb nicht mit unseren Torfmooren für vergleichbar hält, weil Torfmoore nicht vorhanden seien, die nach ihrer Volumen-Reduktion auch nur annähernd die Stärke der mächtigeren Stein- und Braunkohlenlager erreichen würden. Der Grund, warum wir heute keine entsprechend mächtigen Torfmoore besitzen (oder nicht kennen), liegt in der Tatsache, daß die Periode, in der sich die Erde gegenwärtig befindet, keine Periode besonderer Erdkrusten-Bewegungen ist, wie es die Carbon- und Tertiärzeiten gewesen sind.

So erklärt sich denn ein Kohlenlager von fast 100 m Mächtigkeit, wie wir ein solches in dem NW. von Cöln abgebauten Braunkohlenlager her kennen, in ungezwungener Weise, trotzdem wir aus der heutigen Zeit keine Vergleiche zur Verfügung haben, die uns das Entstehen so gewaltiger Mächtigkeiten veranschaulichen, weil es eben solche hervorragenden Senkungsgebiete mit Moorbildungen gegenwärtig nicht gibt.

Die Beantwortung der Frage, woher die Wurzeln ihre notwendige reichliche anorganische Nahrung bezogen haben, macht keine Schwierigkeit, wenn wir uns des p. 35 ff. über unsere heutigen Sumpfflachmoore Gesagten erinnern. Die steten Überschwemmungswässer bringen genügend gelöste anorganisch-mineralische Nahrung ins Innere des Moores, während die schwebend mitgeführte Trübe am Rande, namentlich wenn hier eine Röhrichtzone vorhanden ist, abgefiltert wird.

In kurz zusammenfassender Wiederholung wäre zu sagen: Die besonders reichliche Moorbildung des Carbons und des Tertiärs erklärt sich in erster Linie aus der Tatsache, daß diese Formationen die Zeiten hervorragender Gebirgsbildung gewesen sind, wodurch Täler und große Senkungsgebiete, besonders

Digitized by Google

an Meeresküsten geschaffen wurden, die für Moorbildungen günstige Örtlichkeiten sind. Bei einer ständigen Landsenkung mußten auf ebenem Gelände an vielen Stellen große Moore entstehen, die, oft von Sedimenten bedeckt, durch Gesteinszwischenmittel getrennt wurden.

Es braucht wohl kaum hinzugefügt zu werden, daß tiefer gelegene Landgebiete, die durch Erosion oder sonstwie entstanden sind, d. h. Strecken, die ringsum mehr oder minder durch Erhöhungen abgeschlossen sind, mögen diese geologisch zustande gekommen sein wie sie wollen, für die Bildung von Mooren — falls dauernd stehendes Wasser vorhanden war oder ist — genau so günstige Örtlichkeiten waren und sind, wie durch Gebirgsbildung entstandene Täler oder damit im Zusammenhang stehende Landsenkungen; allerdings werden diese limnischen Becken im allgemeinen nicht die Ausdehnung der paralischen erreichen.

Geologischer Florenwechsel

Die Gleichmäßigkeit der mehrere Kilometer mächtigen Schichten des produktiven Carbons, wo wesentlich Tonschiefer, Sandsteine, auch gelegentlich Konglomerate und dazwischen mehr oder weniger häufig fossile Torflager (Kohlenlager) eingeschaltet auftreten, deutet auf eine im ganzen gleichmäßige Senkung derjenigen großen Geländestrecken hin, die diese Kohlenlager in mächtigerer Ausbildung enthalten. Im allgemeinen hat eine langsame Sedimentation stattgefunden. Gelegentlich muß allerdings die Anhöhung des Bodens durch Sedimentation von Sand oder Ton schneller erfolgt sein, was auch heute unter Umständen bei Überschwemmungen u. dergl. verkommt; denn die gelegentlich auftretenden, ziemlich langen aufrechten Baumstämme in Sandsteinen oder Tonschiefern würden nicht in der vorhandenen Länge zur Fossilisation haben gelangen können, wenn sie nicht relativ schnell eingebettet worden wären. Da aber solche Vorkommnisse doch nur selten beobachtet werden, so müssen im ganzen sehr gewaltige Zeiträume verflossen sein, um die Ablagerung des gesamten produktiven Carbons zustande zu bringen; denn mit unserem der menschlichen Staatengeschichte entnommenen zeitlichen Maß, das mehrere 1000 Jahre umfassend noch nicht einmal als Einheit hinreicht, um wesentliche Veränderungen in der Weiterentwicklung der Organismenwelt wahrzunehmen, müßten wir sehr viele solche Maße haben, wenn wir der Tatsache Rechnung tragen wollen, daß innerhalb des produktiven Carbons bemerkenswerte phylogenetische Wandlungen stattgefunden haben. Versuchen wir, um uns das Gesagte zu verdeutlichen, die Florenfolgen in einem Teil des produktiven Carbons kurz zu streifen.

Am lehrreichsten und schnellsten kann man diese in einem genügend langen Bohrkern verfolgen, d. h. einem mit dem technisch hoch

Digitized by Google

entwickelten Diamant-Bohrverfahren herausgeholten zylinderförmigen, langen Gesteinsstück, das Proben der durchteuften Horizonte bequem zur Verfügung stellt. Das bisher tiefste niedergebrachte Bohrloch im produktiven Carbon von Czuchow in Oberschlesien hat eine Länge von über $2^1/_4$ km[1]).

In einem durch eine solche Bohrung zutage gebrachten Profil kann nun im produktiven Carbon alle paar Meter, z. B. durchschnittlich alle 10 m, ein Kohlenlager von verschiedener Mächtigkeit auftreten, ohne daß dabei irgend eine Beeinflussung der Gesamtflora zu bemerken wäre, nur daß autochthone *Stigmarien* unter den Lagern in Menge vorzukommen pflegen.

Bohrkerne aus Partien des Carbons, die reich an Steinkohlenlagern sind, bergen zuweilen in den Schiefertonen eine Unzahl von fossilen Pflanzenresten. Eine zunächst verwirrende Fülle derselben — Steinkerne, Rinden, Abdrücke der Oberflächen von Stämmen, Stamm-, Wedelstielstücke, Blatt- und Blütenreste, Samen usw., wie man bald sieht, den verschiedensten Arten angehörig — tritt dem Untersucher entgegen. Für den Palaeontologen, der feststellen möchte, in welchen Abschnitten der innerhalb des produktiven Carbons zur Ablagerung gelangten mehreren 1000 m Gesteinsschichten die Bohrung steht, gilt es nun zu sehen, ob und welche von den Fossilien für bestimmte Altershorizonte charakteristisch sind. Unter dem ewigen Einerlei der gleichen Pflanzenreste heben sich nun in der Tat in verschiedenen Horizonten einzelne Formen heraus, die ein beschränkteres Vorkommen haben: Das sind die „Leitformen".

Aber nicht nur das Vorkommen bestimmter Reste und Typen an sich ist zu verfolgen, sondern auch ihre relative Häufigkeit, ihr Auftreten und Wiederverschwinden. Es gehen nämlich Fossilien, die, sagen wir, für den Horizont b besonders leitend sind, auch in einzelnen Exemplaren in den Horizont c hinüber und sie kommen auch vorher schon in dem Horizont a, ihre reichliche Entwicklung in b vorbereitend, vor.

Einzelne aus einem Bohrkerne herausgeschlagene Stücke können daher als Grundlage für eine Horizontierung von vornherein keine Sicherheit bieten. Der ganze Kern muß, soweit er Petrefakten bringt, klein geschlagen werden, um ein möglichst genaues Bild von dem Auftreten, gänzlichen oder mehr oder minder langsamen Verschwinden der Arten zu erhalten.

---

[1]) Genau 2239 m; tiefstes Bohrloch überhaupt (nach Tidskr. Aardr. Genootsch. 1919, S. 782) bei Clarksburg, im Norden von West-Virginia (N. A.): 7386 Fuß = 2422 m (auf Petroleum).

Digitized by Google

Die Tatsache, die wir aus dem Carbon lernen, daß also viele Arten langsam verschwinden, um schließlich vor dem vollständigen Aussterben nur noch an wenigen Örtlichkeiten ein letztes Dasein zu fristen, entspricht durchaus den Verhältnissen der Gegenwart. In dieser Beziehung seien als Beispiel die *Matoniaceen*-Typen der Jura- und Kreideformation genannt, unter denen Reste vorhanden sind, von denen *Mat. Wiesneri* sich nur wenig von der rezenten *Matonia pectinata* unterscheidet. Diese Spezies ist heute nur noch aus der Umgegend von Singapore bekannt, wo sie zusammen mit *Dipteris* auftritt, einer Gattung, die heute ebenfalls selten, wenn auch nicht auf nur einen Fundort beschränkt ist, wie *Matonia*. Dieses Zusammenleben ist deshalb hervorzuheben, weil *Dipteridinen* auch schon im Mesozoikum zu derselben Pflanzengemeinschaft wie *Matoniaceen* gehörten.

Es ist nun besonders hervorzuheben, daß es immer nur einzelne Arten sind, die neu auftreten, resp. verschwinden, so daß die Gesamtphysiognomik der unmittelbar nacheinander auftretenden Floren dieselbe bleibt, und Florenunterschiede um so auffälliger wirken, je mittelbarer sie miteinander verknüpft sind. Demnach ist es nicht so, daß die eine Flora zusammensetzenden Arten scharf mit einer bestimmten Schicht abschneiden und nun plötzlich neue auftreten. Vielmehr gehen — sofern auch die die Arten bergenden Schichten der Zeit entsprechend gleichmäßig zur Ablagerung gelangt sind — die Floren ganz allmählich einander über, und zwar so, daß die eine Art gewöhnlich seltener wird und allmählich ganz verschwindet und irgendwo eine neue einsetzt, allmählich immer häufiger wird und dann ebenfalls ausstirbt. Arten, die nur in ganz bestimmten Horizonten sporadisch auftreten, sind selten.

Bei der Horizontierung ist durchaus nicht zu erwarten, in einem bestimmten Horizont des Bohrkernes — auch wenn sonst viele Reste vorhanden sind — nun auch unter allen Umständen die dem Horizont eigentümlichsten Leitfossilien zu finden. Vielmehr ist zu beachten, daß, wie heute auf der ganzen Erde, so auch zur Steinkohlenzeit die Vegetation in bestimmten Pflanzengemeinschaften (Vegetationsvereinen) auftrat. Wie wir heute die nordwestdeutschen Heiden von den Wiesen und Wäldern, oder ins kleinere gehend, die *Equisetum*-Bedeckungen an überschwemmten Stellen von den *Cladonia*-Feldern usw. unterscheiden, oder wie man selbst innerhalb solcher gleichförmigen Gelände, wie es insbesondere die einzelnen Moortypen sind, an Stellen, wo es nasser ist, z. B. Röhrichte, an anderen Stellen wieder Moorwald usw. beobachtet, so kann man auch zur Steinkohlenzeit je nach der ursprünglichen Bodenbeschaffenheit und den sonstigen Verhältnissen beobachten (vergl. unser Titelbild Fig. 1), daß an einer Stelle *Calamariaceen* besonders reichlich vertreten waren und nicht weit davon, in dem gleichen Horizont, *Farne*

Digitized by Google

oder *Lepidophyten* oder *Sphenophyllaceen*. So ist es erklärlich, daß allerdings ein bestimmtes Kohlenlager an der einen Stelle eine ausgesprochen von einer anderen Stelle desselben Lagers verschiedene Pflanzengemeinschaft aufweisen kann[1]).

Es ist deshalb meist nicht möglich, einzelne Kohlenlager auf Grund von Leitfossilien zu identifizieren. Nur ganze Schichtenkomplexe lassen sich floristisch parallelisieren und zwar im produktiven Carbon speziell des Saarrevieres bequem 3—4 (nimmt man das Rotliegende dazu, 4—5) solcher Komplexe. Die zweckmäßig festzusetzenden floristischen Grenzen liegen zuweilen nicht dort, wo der Bergmann eine Scheidung vornimmt; denn für diesen liegt der Beweggrund, die gesamten kohlenführenden Schichten eines Reviers zu gliedern, in der Wertigkeit der Kohlenlager der einzelnen Horizonte für die Praxis. Das hat aber mit den Floren, die die jetzt fossilen Moore zu der Zeit trugen, als sie noch am Leben waren, nichts zu tun.

Nimmt man die Funde in einem Bohrkern nach den im Vorausgehenden angegebenen Prinzipien auf, so erhält man ein Bild, das nun möglich macht, die floristisch übereinstimmenden Horizonte mehrerer in gleicher Weise untersuchter Bohrungen direkt miteinander zu vergleichen und auch Winke über das Vorhandensein von Schichtenverjüngungen oder Mächtigkeitszunahmen in einem Kohlenrevier zu geben.

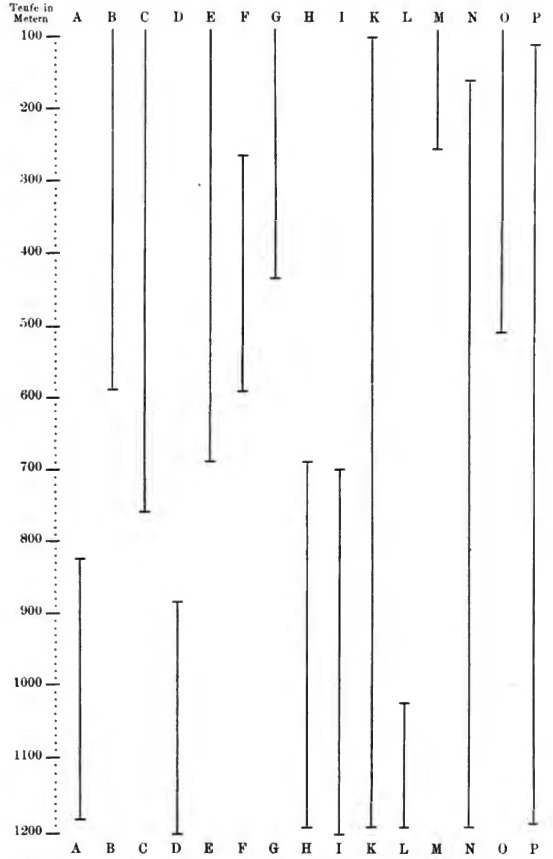
Wenn wir nun die Pflanzen eines Bohrkernes z. B. in den Saarbrücker Schichten des Saarreviers durchsehen, so haben wir außer den durch die ganze Bohrung, soweit es sich um Schichten des produktiven Carbons handelt, durchgehenden Arten (wie z. B. *Spenophyllum cuneifolium* und *Calamites Suckowi*) und außer den nur vereinzelt auftretenden Resten eine Reihe von solchen, die bestimmte Strecken im Bohrkern ausschließlich oder hervorragend auszeichnen, so in unserem Fall u. a.

in den unteren Teufen	*Sphenophyllum myriophyllum*,
später einsetzend	*Sphenopteris Sauveuri*,
noch später einsetzend und höher hinaufgehend	*Palaeoweichselia Defrancei*,
und weiter oben	*Neuropteris ovata* und *Scheuchzeri*,
und wieder später einsetzend gewisse	*Pecopteriden*, *Annularia stellata*,

usw.

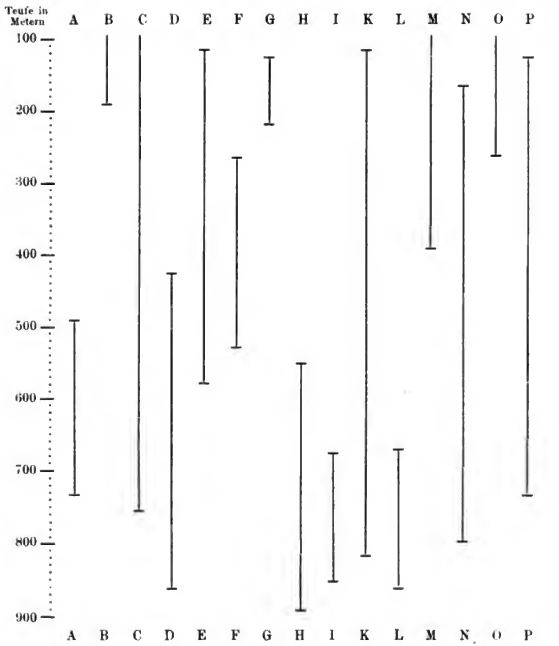
[1]) Manchmal halten aber gewisse Pflanzengemeinschaften in einem und demselben Horizont verhältnismäßig große Strecken aus, so daß man innerhalb eines Schichtenkomplexes doch gewisse enge Horizonte oder Flöze darnach wiedererkennen kann. Jongmans hat von diesem Umstande im holländischen Karbon weitgehend mit Erfolg Gebrauch gemacht und auch ich hatte bereits vor dem Krieg Arbeiten in dieser Richtung begonnen. Vergl. Jongmans 1915; Gothan (Glückauf 1919). Infolgedessen ist das Folgende z. T. mit Einschränkung zu verstehen. W. G.

Digitized by Google



Bohrung Alsbachtal, Saarrev. (Erklärung in dem folgenden Schema und im Text).

Digitized by Google



Bohrung Wiebelskirchen, Saarrev. Die Zahlen links sind die Teufen in Metern. Die Linien geben das Auftreten der einzelnen Arten (A—P) in dem Bohrkern an. (Sonst Erklärung im Text.)

Wenn wir nun mit bereits gesammelten Erfahrungen an die Beurteilung dieser Tatsachen für eine Horizontierung im Kern herantreten, so ist auf Grund der im Kern gefundenen Reste der Horizont festzustellen, weil die Reste in derselben Folge in den schon bekannten Aufschlüssen auftreten.

In den beiden in den Profilen p. 196 und 197 als Beispiele herangezogenen Bohrungen, die ich in der angedeuteten Weise untersucht habe, wurden von den vielen beobachteten Pflanzenarten je 15 charakteristische (als A bis P bezeichnet) herausgesucht und zwar in beiden Fällen dieselben Arten, damit eine Parallelisierung der Schichten mit

Digitized by Google

gleichen Arten möglich ist. Die senkrechten Striche geben das Vorkommen der einzelnen Arten in den links zahlenmäßig in Metern angegebenen Tiefen an. Es bedeutet also, daß die Art A in der einen Bohrung (Wiebelskirchen) von 491—729 m vorkommt, in der anderen (Alsbachtal) von 817—1186 m usw. Die als Beispiel herangezogenen Spezies sind *Sphenopteris Sauveuri* (A), *Pecopteris hemitelioides* und die mit diesem Typus nächst verwandten *Pecopteris*-Arten (B), *Pecopteris unita* (C), *Pecopteris pennaeformis* (D), *Alethopteris Davreuxi* (E), *Palaeoweichselia Defrancei* (F), *Neuropteris ovata* (G), *Neuropteris gigantea* (H), *Neuropteris tenuifolia* (J), *Linopteris neuropteroides* (K), *Sphenophyllum myriophyllum* (L), *Annularia stellata* (M), *Annularia pseudostellata* (N), *Annularia sphenophylloides* (O), *Cingularia typica* (P).

Wir sehen nun in beiden Fällen — die Bohrung Wiebelskirchen befindet sich im Osten, die Bohrung Alsbachtal im Westen des Saarrevieres — eine ganz übereinstimmende Verteilung der Arten, d. h. daß die Arten, die in der einen Bohrung nur unten vorkommen, auch in der anderen Bohrung die älteren sind. Ebenso verhalten sich die in den mittleren und oberen Partien auftretenden Formen. *Spenophyllum myriophyllum* (L) z. B. ist eine Art der tieferen, *Palaeoweichselia Defrancei* (F) der mittleren und *Annularia stellata* (M) eine Art der oberen, von den Bohrungen durchteuften Schichten usw. Diese kann man danach in drei zeitlich aufeinander folgende Floren unterscheiden. Ein Vergleich der Länge der Linien gleicher Arten in den beiden Bohrungen gibt darüber Auskunft, daß gegenüber der Bohrung Alsbachtal in den von der Bohrung Wiebelskirchen durchteuften Schichten eine Schichtenverjüngung (nach Osten hin also) stattgefunden hat.

Lassen sich nun auch, wie schon angedeutet, in gleicher Weise palaeobotanisch untersuchte Bohrkerne eines und desselben Carbonreviers ohne weiteres miteinander vergleichen, gewissermaßen wie verschiedene Maßstäbe aneinanderlegen und die durchteuften Schichten auf Grund floristischer Ähnlichkeiten miteinander parallelisieren, so ist eine Gegenübersetzung der engeren Horizonte in Bohrkernen aus verschiedenen Revieren, z. B. des Saarreviers einerseits und Oberschlesien anderseits, nicht ohne weiteres zulässig; denn es stellt sich nach eingehenderer Untersuchung immer mehr heraus, daß wesentliche lokale Färbungen in den Floren verschiedener Reviere zur Geltung kommen und daß auch in dem Vorkommen der Arten in den verschiedenen Becken sich gewisse Differenzen in der Lebensdauer der Arten bemerkbar machen. So sind *Palaeoweichselia Defrancei*, eine wichtige und häufige Form der Flammkohlenpartie des Saarreviers, ferner *Sphenopteris Goldenbergi*, *Alloiopteris sarana*, anderwärts überhaupt noch nicht gefunden worden. *Sphenophyllum myriophyllum* der Fettkohlen dieses Reviers kommt wohl in Frankreich (im Revier von Valenciennes) häufig vor, ist aber in den anderen Revieren

Digitized by Google

Deutschlands bis jetzt nur hier und da untergeordnet beobachtet worden. Ferner ist zu berücksichtigen, daß in gewissen Revieren einzelne Arten weiter hinauf gehen resp. eher einsetzen als die anderen, wie z. B. *Subsigillaria Brardi*, die im Saarrevier nur im oberen produktiven Carbon (in den Ottweiler Schichten) und im Rotliegenden vorkommt, in England aber schon im mittleren produktiven Carbon beobachtet wird. Wir haben es demnach bereits im produktiven Carbon mit Lokalfärbungen bei gleichzeitigen Floren zu tun (POTONIÉ 1902; über das Pflanzengeographische GOTHAN 1915).

Fossile Liptobiolithe

Die Pflanzenwelt hat sich im Verlaufe der geologischen Formationen von einfachen zu verwickelteren Bauverhältnissen umgestaltet. Manche Eigentümlichkeiten, die wir an heutigen Pflanzen sehen, und die ihnen nützlich sind, fehlten noch den Gewächsen des produktiven Carbons. Hier ist besonders ein interessanter Unterschied hervorzuheben zwischen den Vegetationen des produktiven Carbons und des Tertiärs. Viele Pflanzen des letzteren besaßen nämlich harzausscheidende Organe, die denen der Steinkohlenformation noch gänzlich fehlten oder bei ihnen doch wesentlich zurücktraten[1]). Auch Wachs- und Wachsharzausscheidungen, die heute vielen Pflanzen eigen ist, dürften, nach dem Urteil, das uns Schliffe durch Holzteile usw. gestatten, im Palaeozoikum noch kaum, jedenfalls aber nicht ausgiebig, vorhanden gewesen sein, dagegen dürften die vielen Sporen und Pollenhäute in der Kohle wohl sicher wachsharzige Stoffe enthalten. Die Tertiärfloren hingegen gleichen den heutigen Floren in dieser Beziehung durchaus. Mit Sicherheit sind Harzgänge-führende Hölzer erst seit dem Jura bekannt. In den Ablagerungen, die den größten Vorrat an Kohlen bergen, also im produktiven Carbon, fehlen jedenfalls eigentliche Lager von Liptobiolithen.

Die Harze dienen den Pflanzen als Mittel zum Wunderverschluß. Wo durch Windbruch, Tierfraß usw. eine Wunde entsteht, die den Atmosphärilien und Pilzsporen zugänglich ist, wird von den harzab-

[1]) Gewisse Autoren halten aber Harzkörper für häufig in der Carbonkohle wie WHITE 1914. Indes ist es außerordentlich schwierig, die betr. Körper im Mikroskop richtig zu beurteilen, und ein Teil davon ist sicher weiter nichts als kolloidal ausgeschiedene Humussubstanz, etwa doppleritischer Natur oder dem Vitrain von STOPES entsprechend. Außerdem sind kleine Partikel schwer rein für die chemische Untersuchung zu erhalten.

Digitized by Google

sondernden Pflanzen ein Verschluß bewirkt, der Gesundheit und Leben störende Einwirkungen zurückhält. In der Tat werden z. B. die zum Zwecke der Harzgewinnung angeschnittenen Stämme von Harz überrieselt, was die Heilung der Wunden zur Folge hat. Die Behälter, die das Harz enthalten, finden sich besonders in der Rinde der Stämme und Zweige und in allen Nadeln, also in den der Beschädigung am leichtesten ausgesetzten Teilen. Sie sind aber auch im Holze reichlich vorhanden. Dort sind es Kanäle oder anders gestaltete Behälter, wie bei der Fichte, der Kiefer und auch den Bernsteinbäumen, von denen noch eingehender die Rede sein muß, die alle außer Harzkanälen sogenannte Harzdrusen oder Harzgallen aufweisen. Überraschend stark verharzte Hölzer („bituminöse Hölzer" im engsten eigentlichen Sinne), so reich und homogen von Harz durchtränkt, daß sie fast wie Siegellack brennen, sind zuweilen in der Braunkohle zu finden[1]). Es ist eine bekannte Erscheinung, daß nach dem Fällen oder Abbrechen von Baumstämmen die in der Erde zurückbleibenden Stümpfe harzführender Bäume verkienen, also besonders zur Harzproduktion geneigt sind, da, wie gesagt, der Harzfluß in physiologischer Hinsicht ein Wundverschluß ist. Die Entstehung und Herkunft stark harzhaltiger Kohle in den Höhlungen von mächtigen, noch aufrechten Stümpfen in Braunkohlenlagern erklärt sich daher ebenfalls aus Harzfluß, der in die als Wunde anzusehende Stammhöhlung hinein besonders reichlich stattgefunden haben muß, vielleicht besonders nach dem Abbrechen der Stämme, die ja zunächst oft noch lebensfähig gewesen sein werden, jedenfalls aber im Absterben besonders viel Harz erzeugt haben.

Liptobiolithlager scheinen gern allochthon zu sein (vergl. vorn p. 46), d. h. sie werden nicht dort gefunden, wo die Pflanzen lebten, sondern es hat ein Transport der Pflanzen oder Pflanzenteile und eine Ablagerung auf fremdem Boden stattgefunden. In dieser Beziehung besteht ein Gegensatz zu den Humusgesteinen, bei denen die Moore autochthon, an Ort und Stelle entstanden sind, wo auch die Pflanzen lebten. Die Sachlage ist die: Wo liptobiolithhaltiges Pflanzenmaterial transportiert wird, das unter autochthonen Verhältnissen Humus bilden würde, erhalten wir Liptobiolith-Ablagerungen, bezw. eingebettete Liptobiolith-Stücke; denn bei einem Transport wird die Zersetzung organischer Substanzen naturgemäß stark unterstützt und beschleunigt, weil bei der steten Bewegung des Wassers mit den transportierten Teilen ständig der die Zersetzung befördernde Sauerstoff in Berührung kommt. Gerade hierbei kann also das liptobiolithische Material schnell angereichert werden und muß

[1]) Besonders merkwürdig sind Harzhölzer von Volpriehausen bei Göttingen, bei denen alle Zellen mit bleichem Harz vollgestopft sind, so daß die Hölzer wie Siegellack brennen; merkwürdigerweise ist das Harz in den Harzparenchymzellen braun-sienafarben wie gewöhnlich, während das alle anderen Zellen erfüllende Harz gelblich ist.

Digitized by Google

schließlich allein zurückbleiben. Harzstücke, die das Driftgut enthält, können einzeln zur Einbettung gelangen, wie an dem Vorkommen des Bernsteins und an anderen Vorkommnissen fossiler Harze zu sehen ist.

Der Bernstein (vom altdeutschen börnen = brennen, daher früher Börnstein [jetzt müßte es daher Brennstein heißen]; griechisch ἤλεκτρον, wovon das Wort Elektrizität abgeleitet wird, weil der Bernstein durch Reibung leicht negativ-elektrisch wird; der wissenschaftlich-internationale Name für den echten Bernstein ist Succinit) ist das von damals lebenden Nadelhölzern reichlich ausgeschwitzte, erhärtete Harz. Des Vorkommen des baltischen Bernsteins — es gibt auch in anderen Ländern Bernstein bezw. sehr bernsteinähnliche fossile Harze — erstreckt sich über ganz Norddeutschland, Polen, die russischen Ostseeprovinzen und Finnland, anderseits über Holland, England, Dänemark und Schweden. Am häufigsten findet er sich im Samlande in Ostpreußen. Schon seit dem Altertum und noch früher fließt hier die Quelle. Besonders die Phönizier zu Schiffe und andere Kaufleute zu Lande haben von hier durch Zwischenhandel den Bernstein den Römern zugeführt. „Der Bernsteinhandel" — sagt Alexander von Humboldt — „bietet uns in seiner ehemaligen Ausdehnung für die Geschichte der Weltanschauung ein merkwürdiges Beispiel von dem Einflusse dar, den die Liebe zu einem einzigen fernen Erzeugnisse auf die Eröffnung eines inneren Völkerverkehrs und auf die Kenntnis großer Länderstrecken haben kann. Derselbe setzte zuerst die Küsten des nördlichen Ozeans in Verbindung mit dem Adriatischen Meerbusen und dem Pontus." Der Bernstein scheint in der Tat die Ursache des Beginnes der wissenschaftlich geographischen Kenntnis unseres Nordens zu sein. Deshalb und weil es überhaupt ein allbekanntes Mineral ist, ist es geboten, hier etwas über ihn zu sagen.

Schon Aristoteles schloß aus den im Bernstein vorkommenden Insekten, daß dieser Stoff, ähnlich dem Myrrha, flüssig den Bäumen entquollen sei. Auch Cornelius Tacitus meint, man erkenne den Bernstein als ein Baumharz, denn man sehe oft kriechende und selbst fliegende Insekten durchschimmern, die, von der flüssigen Masse erfaßt, nachmals bei der Verhärtung eingeschlossen wurden. Tacitus fährt fort: „Ich denke mir, daß, wie in den fernen Gegenden des Morgenlandes, wo Weirauch und Balsam ausschwitzt, es so auch auf den Inseln und Küsten des Abendlandes fruchtbare Wälder und Haine gibt, wo Baumharz, durch die Strahlen der nahen Sonne ausgezogen und flüssig gemacht, ins nächste Meer hinabrinnt und durch Sturmgewalt ans gegenüberliegende Ufer geschwemmt wird".

Die „Blaue Erde" des Samlandes, in der sich der Bernstein, ferner Holzstücke, zusammen mit Resten von Meerestieren, wie Muscheln, Haifischzähnen usw. eingelagert findet, ist ihrer zeitlichen Entstehung

Digitized by Google

nach natürlich jünger als der Bernstein. Die Nadelbäume, die den Bernstein als Harz absonderten, der Bernsteinwald, stand auf Trümmern der Kreideformation. Er selbst gehört der älteren Tertiärformation an. Meerwasser hat den Bernstein mit den begleitenden Resten und der Blauen Erde zusammengeschwemmt. Er befindet sich somit im Samlande an zweiter Lagerstätte. Wird er in noch jüngeren, wie z. B. häufig genug in Diluvialschichten oder gar im Alluvium angetroffen, so befindet er sich demnach hier an dritter oder so und so vielter Lagerstätte. Meist liegt die Bernstein führende Schicht unter dem Meeresspiegel, und zwar vielfach unmittelbar am Meere und auch den Seegrund bildend. Das Wasser zerstört die Schicht unablässig, nimmt den Bernstein auf und wirft ihn, da sein spezifisches Gewicht dem des Ostseewassers ungefähr gleichkommt, oftmals an den Strand. Auch diluviale Gletscher haben an der Zerstörung der Bernsteinschichten, die eine ausgedehnte westliche Verbreitung gehabt haben müssen, wesentlich Anteil genommen. So ist der Bernstein als „Geschiebe" in das Diluvium von Berlin, sowie in dasjenige der dänischen und schwedischen Inseln gelangt, sogar bis an den Fuß des Riesengebirges. Aber die Wiederzerstörung der Ablagerungen der Blauen Erde hat schon früher, zur Tertiärzeit selbst, begonnen, und es findet sich daher auch Bernstein in den Schichten unmittelbar über der Blauen Erde.

Zu den Bernsteinbäumen rechnet H. Conwentz (1890) nach Blatt- und Blütenresten vier Kiefernarten, von denen aber keine einzige unserer Föhre oder gemeinen Kiefer *(Pinus silvestris)* nahesteht, ferner eine Fichtenart, die der *Picea ajanensis* vom Amur und von der Insel Jezo ähnlich sieht. Außerdem gediehen immergrüne *Eichen* und *Buchen* zusammen mit *Palmen* und lorbeerartigen Gewächsen und *Magnolien*. Es ist wahrscheinlich, daß alle diese verschiedenartigen Bäume und Sträucher nach verschiedenen Regionen gesondert waren und sich nicht zu einem gemischten Walde zusammenschlossen. So bildeten die eigentlichen Bernsteinbäume für sich einen geschlossenen Bestand, der nur hier und da von anderen Baumarten unterbrochen wurde. Die Kiefern nahmen hierin eine durchaus vorherrschende Stellung ein. Vergessen wir nicht, daß es sich um Urwälder handelt und nicht um wohlgepflegte Forsten, wie wir sie zu sehen gewöhnt sind. Um demnach einen Vergleich mit heutigen Verhältnissen zu haben, müssen wir den Urwald durchstreifen. Conwentz hat das getan und namentlich im Böhmerwald Studien angestellt. Er zieht aus diesen den Schluß, daß es im ganzen Bernsteinwald kaum einen gesunden Baum gegeben haben kann: das Krankhafte war die Regel, das Normale die Ausnahme. (Das Folgende im Auszug aus Conwentz, Monogr. der balt. Bernsteinb. 1890.) Nicht allein durch Wind und Wetter, sondern auch durch pflanzliche Parasiten und Fäulnis, sowie durch Insekten und andere Tiere vollzogen sich an ihnen unaus-

Digitized by Google

gesetzt Beschädigungen, die Harzfluß und andere Krankheitserscheinungen veranlaßten. Es lag in der Natur der Dinge, daß die aus Anflug hervorgegangenen und gedrängt aufgewachsenen Bäume ihre unteren Äste verloren, sobald diese bei mangelnder Beleuchtung nicht mehr genügend ernährt werden konnten. Bei der geringsten Erschütterung durch Wind oder Regen, durch Tiere oder andere Agentien brachen sie ab und hinterließen eine offene Wunde, die in der Folge durch Harz und bei fortschreitendem Wachstum des Stammes durch Überwallung vernarben konnte. Obschon auf diese Weise den Bäumen kein erheblicher Schaden zugefügt wurde, ist dieser Prozeß doch wegen seines allgemeinen Vorkommens nicht ohne Einfluß auf das Leben der Bäume geblieben; aber es spielten sich im Bernsteinwald auch mancherlei andere Vorgänge ab, wodurch erhebliche Beschädigungen angerichtet wurden. Alte, abgestorbene Bäume senkten sich zu Boden, streiften und knickten die Zweige anderer Bäume in weitem Umkreise, um dann mit der ganzen Wucht ihres Körpers auf alles das niederzufallen, was ihnen in ihrer Fallrichtung entgegenstand. Mit Gewalt schlugen sie an die Nachbarstämme an, rissen ihre Borke auf weite Strecken hin ab und verletzten stellenweise auch den Holzkörper selbst. Auch heftigere Winde und Orkane zogen über den Bernsteinwald hin und richteten in ihm die schlimmsten Verheerungen an. Was die Natur durch Jahrhunderte geschaffen, wurde im Verlaufe weniger Augenblicke durch ein furchtbares Element zerstört. Ein Wirbelwind setzte sich in die mächtige Krone und drehte sie auf ihrem Stamme in kürzester Zeit ab. Die stärksten Bäume wurden wie Grashalme über dem Boden geknickt und kreuz und quer durcheinander geworfen. Andere Bäume wurden mit ihren Wurzeln aus der Erde gehoben und auf weite Strecken durch die Luft gewirbelt, bis sie zu Boden fielen oder an irgend einem noch aufrechten Baume hängen blieben. Dieses Phänomen mag immer nur an einzelnen Stellen des Waldes aufgetreten sein, verschonte aber kaum ein Individuum und riß daher große Lücken in den Bestand, wo nunmehr eine enorme Menge von totem Material angehäuft wurde. In anderen Zeiten herrschte wohl eine drückende Schwüle und heftige Gewitter entluden sich über dem Walde. Blitze schlugen in die Baumkrone oder in einen alten Aststumpf und sprengten dann auf weite Strecken hin die Rinde ab, deren Fetzen an den Wundrändern hängen blieben und frei in die Luft hineinragten. Auch der Holzkörper wurde gespalten und die herausgerissenen Holzsplitter flogen samt einzelnen Rindenfetzen weit fort. Zuweilen fuhr ein Blitzstrahl in einen absterbenden Baum oder auch in pilzkrankes Holz und bewirkte hier eine Entzündung. Das Feuer ergriff nicht nur den getroffenen Stamm und die Nachbarstämme, sondern lief noch am Boden hin und verzehrte das auf ihm lagernde trockene Material. Auch das von Mulm und Moos umgebene alte Harz der Bäume wurde vom

Digitized by Google

Feuer erfaßt, konnte also nicht hell aufflammen, sondern schwelte unter der schützenden Decke langsam fort und setzte eine schwärzliche Rinde an. Der Bernsteinwald wurde von einer sehr reichen Tierwelt belebt, denn Insekten und Spinnen, Schnecken und Krebse, Vögel und Säugetiere hielten sich hier auf, ganz wie in den Wäldern der Jetztzeit. Das Leben der meisten stand in inniger Beziehung zum Leben der Bernsteinbäume, und es gab unter ihnen viele, die den grünenden Baum schädigten, während andere das tote Holz angriffen. Größere Tiere brachen mutwillig und unabsichtlich Äste ab und verletzten durch ihren Tritt die zutage liegenden Wurzeln. Eichhörnchen sprangen von Zweig zu Zweig und schälten ihre junge Rinde. Die Stille des Waldes wurde vom Klopfen des Spechtes unterbrochen, der in der Rinde und im Holze der Bernsteinbäume nach Insekten suchte, auch wohl Höhlen zum Nachtaufenthalt und zum Brutgeschäft hineinzimmerte. Mit vereinten Kräften mögen auch beide Tiere die Zapfen der Nadelbäume bearbeitet und zerstört haben. So schildert CONWENTZ noch weiter die Beschädigungen, denen der Bernsteinwald ausgesetzt war, nicht etwa aus seiner bloßen Phantasie heraus, sondern gestützt auf eine Reihe von Erscheinungen im Bernsteinholz selbst, den er einer sorgfältigen Untersuchung und Vergleichung mit ähnlichen Vorkommnissen in jungfräulichen Waldbeständen unterzogen hat.

Überall wo eine Beschädigung stattfand, suchte die Natur durch Harzerguß die Wunde zu heilen. Dieser trat aber gewöhnlich nicht so schnell ein, daß nicht vorher Pilzsporen anfliegen und zur Keimung gelangen konnten. Deren weitere Entwicklung wurde umsomehr begünstigt, als Wärme und Feuchtigkeit reichlich vorhanden waren. Daher wurden nach und nach alle Bäume von einem oder dem anderen, oft auch von mehreren Parasiten gleichzeitig befallen. Auch höhere Pflanzen, wie mistelähnliche Gewächse, lebten parasitisch auf den Bernsteinbäumen. Sie führten reichlich Harz in allen ihren Teilen, vornehmlich aber — wie schon gesagt — in der Rinde und im Holze. Wenn man das normale Vorkommen der harzbildenden Organe, deren Größe und Verteilung ins Auge faßt, kann man einen erheblichen Unterschied von unseren heutigen Kiefern und Fichten nicht bemerken. Ebenso finden die verschiedenen abnormen Bildungsweisen des Harzes durchweg ihre Ähnlichkeit bei Formen der Gegenwart. Was aber die Bernsteinbäume in hervorragendem Maße auszeichnete, ist der Umstand, daß die ihnen so häufig zuteil gewordenen Beschädigungen nicht allein den Harzausfluß, sondern auch die Neuanlage von Harzbehältern wesentlich begünstigten. Wenn das klare Harz die Oberfläche des Stammes und der Äste überzog, nahm es leicht vorüberfliegende Insekten, sowie angewehte Pflanzenreste in sich auf. Bei wiederholtem Flusse entstanden geschichtete Stücke, die „Schlauben" des Handels, die sich durch den Reichtum an organischen

Digitized by Google

Einschlüssen auszeichnen. Das dünnflüssige Harz tropfte aber auch von Zweig zu Zweig und bildete in diesen freihängende Zäpfchen, die durch Ablagerung neuer Schichten immer mehr an Umfang und Länge zunahmen. Während dieses Vorganges wurden gleichfalls kleine Tiere und Pflanzenteile eingeschlossen. Mit Rücksicht darauf, daß dieser Prozeß schnell vor sich ging und die einhüllende Masse dünnflüssig war, wurden die Formen außerordentlich scharf wiedergegeben. Wegen der wenn auch geringen Durchlässigkeit der Harzmasse konnte jedoch eine Verwesung der Einschlüsse nicht verhindert werden; nur einige Kohlen- und Chitinreste finden sich noch in den Hohlräumen. Das dünnflüssige Harz fiel auch auf den Boden und verkittete den Mulm, unförmige Massen bildend, die den Firnis des Bernsteinhandels geliefert haben. — Soviel über den Bernsteinwald und den Bernstein. —

Je nach der mehr oder minder großen Verschiedenheit in ihrer Zusammensetzung, in ihren Eigenschaften und in ihrem Herkommen haben die wie Bernstein vorkommenden Harze die verschiedensten Namen erhalten, wie Beckerit, Euosmit, Gedanit („mürber Bernstein"), Glessit (mit vorigem eine Abänderung des Bernsteins), Ixolit, Jaulingit, Krantzit, Melanchym, Piauzit, Pyroretin, Refikit, Retinit (ein Sammelname für Harzstücke aller Art in der Braunkohle), Rumänit, Rosthornit, Schraufit (mit manchen anderen mit etwas Bernsteinsäure); Siegburgit, Symatit, Wheelerit (in Kreidekohlen Neu-Mexikos) usw.

Auch fossile kopalähnliche Harze scheinen im Tertiär vorzukommen. Über rezenten und subfossilen Kopal vergl. p. 46. Bei seiner Resistenz wird dieser wie Bernstein viel in Sedimente eingebettet, so in Ostafrika.

Ein besonderes Interesse verdient der Pyropissit (Kenngott 1850, vom griech. πυρ = Feuer und πισσα = Harz, Pech) des Weißenfels-Zeitz-Altenburger Braunkohlenreviers, der schon durch seine weißgelbe Farbe seine besondere Natur zu erkennen gibt, insbesondere aber, wenn er ans Feuer gehalten wird, sofort sich als Harzsubstanz verrät. Weitere Namen für diesen Liptobiolith sind in alphabetischer Ordnung: Bergtalk (Wackenroder 1849), bituminöse Holzerde (Voigt 1792), gelbe Braunkohle (Früh 1895), graue Erdkohle (Freiesleben 1827), reine Schwelkohle, Wachskohle und weiße Kohle (von Dechen); Jonit aus der Jone Valley (Kalifornien) soll Pyropissit sein. Da die Liptobiolithe von der Technik in ähnlicher Weise verarbeitet werden können und verarbeitet werden wie Sapropelite, nennt man auch die ersteren „bituminöse" und zwar sind sie um so bituminöser, je mehr Paraffin und Öl sie vermöge ihres Harz- und Wachsgehaltes herzugeben imstande sind. So ist denn zu den schon genannten Synonymen noch die Bezeichnung stark bituminöse Braunkohle hinzuzufügen.

Digitized by Google

Auf das ehemals reiche Vorkommen des Pyropissits gründet sich die Schwelindustrie in dem genannten Revier, wo man sich jetzt zu diesem Zweck mit harzreicherer Braunkohle begnügen muß.

Zum Verständnis des Pyropissits ist es nötig, zur Genesis der dortigen Braunkohlen als Ergänzung zu p. 138 ff. einiges nachzutragen (vergl. POTONIÉ 1908). Eine besonders bekannte Äußerung zur Entstehung der Braunkohlenlager der südlichen Provinz Sachsen verdanken wir KARL V. FRITSCH (1889), der zu dem Schlusse kommt, die Braunkohle des Zeitz-Weißenfelser Reviers sei allochthon in dem Sinne, daß „die Pflanzen, deren Reste zusammengeschwemmt wurden", jenes Material geliefert hätten, dem der Bergbau jetzt nachgehe, d. h. sowohl die dunkle eigentliche Braunkohle (Braunkohle im engeren Sinne) als auch den Pyropissit und die Übergänge zwischen beiden. Der genannte Autor hat sich die folgende Vorstellung gebildet: Die Flora, welche die Urmaterialien der Kohle geliefert hat, ist sehr harzreich gewesen. Der Pyropissit besteht wesentlich aus harzigen Stoffen. Das Harz mußte sich, wenn die Masse ins Wasser kam, nach und nach von der eigentlichen Kohle sondern. „Es mußte das leichte Harz schwimmen und sich in besonderen Lagen absetzen, während die etwas schwerere, vegetabilische Kohle[1]), die eigentliche Braunkohle, ihre gesonderten Lagen bildete." Als spezifische Gewichte der Braunkohle im eigentlichen Sinne gibt der Autor an 1,2 bis 1,4, während bei Pyropissit dieses Gewicht gewöhnlich zu 0,9 und bei ganz reiner Substanz noch geringer angenommen wird.

Bei einer Untersuchung des genannten Revieres meinerseits hat sich ein wesentlich verschiedenes Resultat gegenüber den bisherigen Anschauungen ergeben.

Zunächst ist es notwendig, sich mit der Terminologie abzufinden.

I. Hinsichtlich der chemischen Beschaffenheit sind zu scheiden:

A. Braunkohle. So wollen wir nur denjenigen Kaustobiolith bezeichnen, der wesentlich aus Humussubstanzen hervorgegangen ist.

B. Pyropissit wollen wir nur das wesentlich aus harzigen, auch „wachsartigen" und ähnlichen Stoffen gebildete, sehr helle (lößähnlich aussehende) Material nennen.

C. Der aus Braunkohle und Pyropissit gemischte, oft noch ziemlich hell aussehende Kaustobiolith sei als pyropissitische Braunkohle bezeichnet. Zwischen Braunkohle und Pyropissit ist eine scharfe Grenze nicht zu ziehen, da beide durch alle denkbaren Zwischenglieder verbunden sind.

[1]) v. FRITSCH spricht hier von „vegetabilischer Kohle" im Gegensatz zum Harz, d. h. zum Pyropissit, jedoch ist natürlich der Pyropissit auch vegetabilischer Herkunft.

Digitized by Google

II. Hinsichtlich der technischen Verwertung werden in unserem Revier geschieden:

A. Feuerkohle, wenn das Material zur Heizung benutzt wird.

B. Schwelkohle, wenn das Material verschwelt wird. Hierzu wurde ursprünglich nur der Pyropissit benutzt, der die große Schwelindustrie des Reviers veranlaßt hat. Jetzt aber, nachdem der Pyropissit fast ganz abgebaut ist, ist auch die pyropissitische Braunkohle „Schwelkohle". Insbesondere aber wird derzeitig die sekundär-allochthone Kohle als Schwelkohle benutzt, weil diese aus nachher anzugebenden Gründen harzstoffhaltiger ist als die anderen Braunkohlensorten. Schwelkohle ist also, wohl gemerkt, ein rein technischer Ausdruck. Kurz: Wo eine Anreicherung von harzigen Stoffen so stark ist, daß auf Grund dieser Stoffe die Kohlen zur Verschwelung besonders behufs Paraffin- und CH-Öle-Bereitung Verwendung finden können, spricht man von Schwelkohle.

Ferner unterscheidet die Technik:

C. Knorpelkohle. Das ist die dichte Braunkohle, die sich in großen Stücken gewinnen läßt. Sie ist identisch mit der von den niederrheinischen Braunkohlenbergleuten Knabbenkohle genannten Braunkohle. Ihrer Genesis nach kann diese Kohle autochthon oder primär-allochthon sein.

D. Klarkohle. Das ist eine beim Anhauen sofort in kleine Stücke und Pulver zerfallende Kohle. Sie ist identisch mit der von den niederrheinischen Braunkohlenbergleuten Rieselkohle genannten Braunkohle (vergl. p. 139). Klarkohle heißt sie, weil sie bereits zerkleinert (klar) und daher fertig zur Verschwelung usw. ist. Ihrer Genesis nach ist diese Kohle meist sekundär-allochthon. Sie kann aber auch autochthon und wohl auch primär-allochthon sein (vergl. hierüber p. 138).

Es hat sich nun ergeben, daß sowohl in dem Revier südlich, als auch in dem nördlich von Halle die Verhältnisse hinsichtlich der Genesis der Kohlen prinzipiell übereinstimmen. Zum Teil handelt es sich um offenbar autochthone Kohle. Zum großen Teil ist diese aber umgelagert worden und befindet sich an zweiter Lagerstätte, d. h. wir haben es dann mit sekundär allochthoner Kohle zu tun. In dem Revier von Weißenfels bis Altenburg ist autochthone Kohle besonders verbreitet im südöstlichen Teil, die sekundär-allochthone Kohle im nordwestlichen Teil, wo auch die Hauptfundstellen des Pyropissits waren. Aus dieser Tatsache kann man schließen, daß hier der Transport im wesentlichen von Südost nach Nordwest stattgefunden hat. Jedoch bedarf das noch näherer Untersuchung durch genauere Fixierung der Stellen, die einerseits

Digitized by Google

autochthone, anderseits sekundär-allochthone Kohle aufweisen. So scheint es, daß mehrere Gruben im Liegenden autochthone, im Hangenden allochthone Kohlenlager liefern. Auch nebeneinander kommen beide Kohlenarten vor, wie z. B. im Tiefbau der Preußengrube südlich Meuselwitz, was darauf hinweist, daß das transportierende Wasser, wie im Revier westlich von Cöln, sein Bett, soweit es in Kohlenlagern verlief, nachträglich zum Teil wieder mit Kohle ausgefüllt hat.

Mit dem Mikroskop untersucht, zeigt sich, daß in den Kohlenbrocken z. T. zahlreiche, kleine, durchscheinende Harzkrümchen vorhanden sind. Die autochthone Kohle des Reviers ist aber schon makroskopisch charakterisiert durch oft zahlreich, regellos untermengte, kleinere und größere Harzstückchen („Retinit"), oder durch gleichmäßig oder gehäuft verteiltes Harzpulver, was zu der Annahme im Widerspruch steht, daß alle Kohlen des Reviers hinsichtlich der Humus- oder Harzbestandteile eine Separation erlitten haben.

Frisch sagt (l. c. p. 73): „Wären unsere Braunkohlen an Ort und Stelle gewachsen, so würde jedenfalls eine innigste Vermengung der harzigen Teile mit den eigentlichen Kohlenteilen stattgefunden haben". Gerade das trifft — cum grano salis in dem dargestellten Sinne — namentlich bei den Kohlen im südöstlichen Teile des Reviers, aber auch anderwärts zu. Hier findet sich eine Humuskohle, die mit Harz zum Teil so auffällig vermengt ist, daß die einzelnen Stücke davon aus der Kohle herausgelesen werden können. So zeigt sich schon dem bloßen Auge, daß die Braunkohle von einer sehr harzreichen Flora gebildet worden ist.

Später jedoch ist diese autochthone Kohle von den Wassern zum Teil angegriffen und umgelagert worden. Bei einer Wanderung durch die Gruben des Bezirks in nordwestlicher Richtung trifft man nämlich immer häufiger auf Braunkohle, die durch die Zerkleinerung ihres Materials bis zu Pulverform zeigt, daß sie erst als Kohle hierher transportiert worden ist. Bei einem Transport der beschriebenen Harzkohle mußte jedoch bei den verschiedenen spezifischen Gewichten der Kohle und des von ihr eingeschlossenen Harzes eine Trennung ihrer Hauptbestandteile, eine „Separation eintreten. So findet sich in der Tat, je weiter wir nach Nordwesten vordringen, ein immer häufigeres Auftreten von Pyropissit, der weiter nichts als das zusammengeschwemmte Harz ist. Richtiger gesagt war es in dieser Weise einst zu beobachten; denn die Hauptmasse des früher vorhandenen Pyropissits ist abgebaut. Nur kleinere Schmitze stehen noch an, die aber vollkommen genügen, um zur Aufklärung in der angedeuteten Weise zu dienen. Daneben ist — an Quantität natürlich überwiegend — allochthone Rieselkohle und pyropissitische Braunkohle vorhanden (Fig. 73).

Digitized by Google

Harz — z. B. das unserer Kiefer — verwittert häufig zu einem hellen Staub, der wie Pyropissit aussieht. Solcher Harzstaub wird es wohl gewesen sein, der durch Separation zu Pyropissitlagern angehäuft worden ist.

Der Pyropissit mußte natürlich an den ruhigsten Stellen zur Ablagerung gelangen, sei es daß die ihn zusammensetzenden Teile am weitesten geführt worden sind, sei es daß sie an den weniger oder

Fig. 73. Profil des sekundär-allochthonen Braunkohlenlagers des Tagebaues der Grube Franz bei Gerlebogk (Anhalt). B = Braunkohlenlager; vom bei r abgestürztes Kohlenmaterial mit dem für sekundär-allochthone Braunkohle charakteristischen gleichmäßigen, feineren Korn. D = Deckgebirge, und zwar an der photographierten Stelle aus Geschiebelehm bestehend, sonst vorwiegend tertiären Alters, und darüber Löß mit Schwarzerde (Se). S = Sohle mit einigen aus dem Deckgebirge stammenden Knollensteinen. P = stark pyropissitische Schmitzen. Im hangenden Teil des ganzen Lagers, H, drei deutliche und mehrere weniger deutliche, schwächere, mit Geschiebelehm erfüllte Trockenrisse (über diese vergl. p. 141).

kaum bewegten Uferstellen abgelagert wurden. Bei einem solchen Transport eines stark humushaltigen Kaustobioliths müssen sich überdies die liptobiolithischen Beimengungen anreichern, weil — wie schon angedeutet — die Humusprodukte sich leichter zersetzen. Es würde sich daraus die Wertigkeit der sekundär-allochthonen Braunkohle für die Verschwelung im Gegensatz zu der für diesen Zweck weniger wertvollen autochthonen und wohl auch primär-allochthonen Kohle erklären.

Digitized by Google

Die Umlagerung an die zweite Lagerstätte hat — ob nun ganz vereinzelt, müßte die weitere Untersuchung lehren — noch zur Diluvialzeit stattgefunden, wie das Vorkommen von nordischem Material, insbesondere von Feuersteinen, inmitten und zwar bis zur Basis des Kohlenlagers in dem großen Tagebaue der Grube Emma bei Streckau beweist. Die Kohle ist hier durch Eispressung stark aufgefaltet worden, was namentlich durch die ursprünglich horizontal eingelagert gewesenen kleinen, schmalen Kiesbänkchen mit Feuersteinen auffällig ersichtlich ist (Fig. 74).

Das Hangende zeigt sich stark durch die Gewässer der Eiszeit angegriffen. Nach dem Abheben der mit großen nordischen Geschieben versehenen diluvialen Flözdecke unter Wegnahme der in Vertiefungen im Hangenden des Kohlenlagers vorhandenen Sand-, Grand- und Geschiebemassen zeigen sich nämlich durch Wasser bewirkte Auskolkungen, wie dies unsere Figur verdeutlicht, und selbst Strudellöcher mit mehr oder minder kreisförmigem Rande sind auf der Oberfläche des Flözes vorhanden. Es sei dabei an die p. 143 ff. erwähnte ähnliche Erscheinung aus dem Palaeozoicum im produktiven Carbon erinnert.

Es muß dahingestellt bleiben, ob dieser der Diluvialzeit angehörige Braunkohlenlagerteil aus sekundär-allochthoner Kohle, umgearbeitet aus oligozäner Braunkohle, etwa seine dritte Lagerstätte gefunden hat. In Fortsetzung des oben ausgesprochenen Gedankens von der eventuellen ursprünglichen Transportrichtung vom Südosten nach Nordwesten hätten wir es dann hier vielleicht wegen der beigemengten nordischen Gesteine mit einem im wesentlichen nordsüdlichen Transport zu tun.

Röhrichtböden mit parallel und senkrecht zur Schichtung hinabgehenden Wurzeln sind in dem Revier nichts Seltenes und zwar sowohl in der autochthonen als auch in der nachträglich umlagerten Kohle, bezw. in den pyropissitischen Kohlen und im Pyropissit. Z. B. war auch das schwache Pyropissitlager im Hangenden des Kohlenlagers der Grube Emma ein Röhrichtboden. Die Röhrichtwurzeln sind im Pyropissit und in den pyropissitischen Kohlen, überhaupt in hellen Gesteinen naturgemäß durch das Hervortreten als dunklere hinabsteigende Linien sofort zu bemerken, müssen aber in der Braunkohle bei ihrer dunklen Färbung eigens mit Aufmerksamkeit gesucht werden. Da für die Ablagerung von Pyropissit ruhigeres Wasser vonnöten ist, wird freilich die Besetzung mit einer Vegetation hier leichter und schneller vonstatten gehen.

Mehr oder minder pyropissitische Lager und Schmitzen können freilich auch in autochthoner Kohle auftreten; denn wenn die liptobiolithisches Material führenden autochthonen Braunkohlenlager während ihrer Entstehung trockener gelegene Partien aufwiesen, so mußte die Verwesung Platz greifen. Es konnte dann bei entsprechender Zusammensetzung der Flora ein an Liptobiolith reicheres Material zurückbleiben. Die von HEINHOLD (1906) versuchte Rekonstruktion des früheren Vor-

Digitized by Google

kommens von Liptobiolith scheint darauf hinzuweisen. Jedoch beziehen sich seine Fälle, soweit sich jetzt noch übersehen läßt, wesentlich auf die von ihm als solche nicht erkannte sekundär-allochthone Braunkohle, so daß man hier eher an eine Ablagerung des leichteren Pyropissits an den ruhigeren Randstellen des fließenden Wassers zu denken hat.

Bei rezenten Torfen kann man ebenfalls eine Anreicherung von harzigen Teilen beobachten, wo er Verwesungsbedingungen ausgesetzt ist. Auch Harzstückchen (Fichtelit) finden sich gelegentlich in unseren Torfen.

Fig. 74. Auskolkungen im hangenden Teile des sekundär-allochthonen Braunkohlen-Lagers der Grube Emma bei Streckau. Die weißen Schnüre in der Kohle sind diluviale Einlagerungen von anorganischem Mineral.

Wo das Hangende eines schon fertigen Braunkohlenlagers nachträglich den Atmosphärilien so ausgesetzt ist, daß nunmehr eine stärkere Zersetzung ermöglicht und sie dadurch, besonders durch das hinzutretende Wasser, „schmierig" wird — „Schmierkohle" — findet unter Umständen ebenfalls eine Anreicherung von liptobiolithischem Material statt.

Der Pyropissit kann also wohl gelegentlich das nach der Verwesung übrig gebliebene Harz und Wachsharz der Pflanzen sein, die unter Vertorfungs- und Fäulnisbedingungen (d. h. unter weitgehendem resp. gänzlichem Luftabschluß) die Braunkohle (Feuerkohle) geliefert haben.

Digitized by Google

Soweit ich die heute noch vorhandenen Vorkommen selbst untersucht habe, ergab sich aber die Entstehung des Pyropissits durch natürliche nasse Aufbereitung, anders ausgedrückt, durch Separation der leichteren Harz-Beimengungen von den wesentlich aus fossilem Humus bestehenden Teilen, die beide wegen ihres verschiedenen spezifischen Gewichts gesondert zur Ablagerung gelangten.

Es sei hier jedoch bemerkt, daß andere Autoren zu wesentlich anderen Schlüssen als der Verf. gekommen sind. So hat RAEFLER (1912) gefunden, daß das, was POTONIÉ als sekundär-allochthone Rieselkohle ansieht, in Wirklichkeit in Abhängigkeit von der Art des Deckgebirges steht; ist dieses dichttonig, so ist die Kohle darunter „Knorpelkohle"; sind es jedoch durchlässige Sande oder Kiese, so ist die Kohle „rieselig". Ihr allochthoner Charakter kommt also dann auf Rechnung zersetzender Oberflächenwässer und ist also nur scheinbar. Was die Genesis des Pyropissits anlangt, so könnten die Verhältnisse hier auch anders liegen als POTONIÉ annahm. Die Schwelkohle wird an den Beckenrändern im Gebiet hochprozentig und RAEFLER möchte hier lieber einen Wechsel von Vegetationszonen annehmen, die etwa konzentrisch nacheinander das Braunkohlenbecken bedeckten und von denen die randliche die harzreichste Flora enthielt. Die pyropissitische Kohle wäre dann auch wesentlich autochthon. Im Einzelnen bedarf die Sache wohl noch weiterer Untersuchung.

Zu den Liptobiolithen, die in genetischer Hinsicht in die Verwandtschaft des Fimmenits (p. 49) gehören, werden wir diejenigen „Kohlen" rechnen, deren mikroskopisches oder — bei der zuweilen außerordentlichen Größe der Sporen — auch makroskopisches Bild ein massenhaftes Vorhandensein von Sporen oder Pollen erkennen läßt, wobei freilich immer festzuhalten ist, daß die amorphen Kohlensubstanzen die Hauptmasse ausmachen können, deren Herkunft aber nicht mehr zu erschließen ist. Hierher gehört von alten Bildungen z. B. der permo-carbone Tasmanit (A. H. CHURCH 1864), der ein sehr stark Sporen enthaltender sandiger Schieferton (spore-bearing shale) des Mersey River im nördlichen Tasmanien ist. R. M. JOHNSON (1877) bezeichnet den Tasmanit als Gelbe Kohle (Yellow Coal) und Braune Kohle (Brown Coal), auch die Namen Weiße Kohle (White Coal, LIVERSIDGE 1888) und Australian White Coal (E. T. NEWTON 1876) kommen vor. Das Material hinterläßt beim Brennen ein weißes Gestein, das seine ursprüngliche Form beibehält. Ungebrannt ist es hellbräunlich, durch die Sporen wie mit gelblichem, grobem Staub bedeckt und durchsetzt. Der Tasmanit muß wohl in einem ruhigen Wasser am Meeresstrande entstanden sein; denn mit ihm in seinem direkten Hangenden und Liegenden finden sich Meerestiere. Oft finden sich in den Bergmitteln zwischen den Steinkohlenlagern Ansammlungen von Sporen, die auf große und regelmäßige „Schwefelregen" aus den großen, zapfenförmigen Blüten namentlich der Lepidophyten deuten.

Digitized by Google

Schlußwort

Es ist seit LYELL oft genug betont worden, daß die beste Lehrerin geologischer Erkenntnis die Gegenwart ist. In unserem Fall vermag in der Tat das Studium der heutigen Kaustobiolithe und ihrer Lagerstätten viele Aufschlüsse über das Werden der fossilen zu gewähren. Wir sehen, daß für die Erklärung der fossilen Kaustobiolithe und ihrer Lager es besonders eines Verständnisses der Vorkommnisse bedarf, die den heutigen alltäglichen Entwicklungsgang der Erde ausmachen, d. h. solcher, die heute noch wirken und seit dem Vorhandensein einer Lebewelt gewirkt haben. Die Heranziehung besonderer Ausnahme-Verhältnisse ist also für unseren Fall nicht nur nicht nötig, sondern, wenn es geschieht, werden dadurch nur künstlich Schwierigkeiten geschaffen. Die Alltagsvorgänge und -Beobachtungen reichen hin, die geologischen Tatsachen hinsichtlich der fossilen Kaustobiolithe gut verständlich zu machen. Nur hatte man bisher die Gegenwart nicht hinreichend studiert und verglichen. Wir benötigen keine besonderen, aus dem Üblichen herausfallenden Hypothesen, sondern — um Vergleiche anstellen zu können — nur genügender Kenntnisse über die heutigen Kaustobiolithe. Wenn die Geologie in Zukunft die gegenwärtigen Sapropelite und Humusgesteine gebührend in den großen Bereich ihres Wissenstoffes einbeziehen wird, so wird sie wesentlichen Vorteil davon haben.

Wenn es auch Erörterungen rein wissenschaftlicher Art sind, denen die vorausgehenden Blätter gewidmet sind, so drängt sich aus dem Hintergrunde doch unwillkürlich und fast gebieterisch eine praktische Frage von großer Tragweite hervor, nämlich die: wie wird sich einst die Technik helfen, wenn einmal keine Steinkohlen mehr vorhanden sind, weil der Vorrat verbraucht ist? Vorsichtig mit den in einer berechenbaren Zeit vollständig abgebauten Kohlen umgehen und rechtzeitig an Ersatz denken: das muß der Leitstern desjenigen sein, dem die Zukunft der Industrie am Herzen liegt, der voll erfaßt hat, was der Stand der Industrie jetzt für die Kultur des gesamten Menschengeschlechtes bedeutet. Der gegebene nächstliegende Ersatz für die Kohlen sind unsere heutigen Sapropelite und Torfe. Sie sind nicht nur direkt als Feuerungsmaterial verwertbar, sondern — bei noch weiterer technischer Vervollkommnung der Inkohlungs- und Verkohlungsmethoden — ein wertvoller Ersatz für die kohlenstoffreichen Brennmaterialien. Freilich liegt das Bedürfnis nach einem Ersatz zunächst noch im weiten Felde, aber gegenwärtig wäre er noch zu gewinnen; denn in der gemäßigten nörd-

Digitized by Google

lichen Zone mindestens sind noch viele Sapropelit- und Torflagerstätten, Sapropelsümpfe und Moore, vorhanden, die aber gewaltig schnell im Schwinden begriffen sind. Es ist sehr die Frage, wo — für den in die Zukunft Schauenden — der größere nationalökonomische Vorteil zu erblicken ist: ob in der Urbarmachung, d. h. wie es jetzt geschieht, in der Vernichtung aller Moore oder in ihrer Erhaltung. Durch die mit der Beseitigung der Moore verbundene Entwässerung sind übrigens auch meteorologische Veränderungen verknüpft, die für die Kultur der anliegenden Ländereien von Bedeutung sein können. Auf der Leeseite großer Moore ist ein reichlicherer Niederschlag vorhanden, der sich mit deren Entwässerung verringert. Für den Einzelnen bedeutet allerdings ein in Kultur genommenes Moor Landerwerb, für das Ganze aber ist jedes vernichtete Moor wahrscheinlich eine Schädigung.

Jedes Stückchen Stein- und Braunkohle, das die Technik verwendet, bedeutet ein Zehren an einer aufgespeicherten Kraft. Vergleichen wir einmal die Technik mit einem lebenden Organismus! Ein Lebewesen zehrt von der in ihm aufgespeicherten Kraft, allein es ersetzt dieselbe durch Nahrungsaufnahme. Die Technik aber verbraucht nur die vorhandenen Vorräte und kümmert sich, wenigstens vor der Hand, nicht um den einmal notwendig werdenden Ersatz. Die stetige d. h. gesunde Weiterentwicklung der Technik kann nur statthaben, wenn der von ihr kategorisch verlangte Kraftspeicher schier unerschöpflich ist, und ein solcher Speicher ist, wenn wir die Kaustobiolithe miteinander vergleichen, nicht durch die abgestorbenen fossilen Stein- und Braunkohlen gegeben, sondern durch den sich ständig verjüngenden, wachsenden Torf: so lange wachsend, wie die Sonne noch ihr Licht und ihre Wärme spendet! Noch niemals ist die Bedeutung der Kohlenschätze der Menschheit wohl so fühlbar geworden, als in der Zeit nach dem letzten furchtbaren Krieg.

Da es aber der Technik einst gewiß gelingen wird, Wärme und Licht der Sonne noch direkter und ausgiebiger in ihren Dienst zu stellen, so ist wohl auch deshalb das Verschwinden der Moore in den Kulturländern besiegelt. Nur mit tiefem Schmerz kann der Naturforscher diesen Untergang verfolgen; denn Kunst und Wissenschaft und hier zumal die historische Erkenntnis, die wie kaum etwas anderes geeignet ist, die Zustände, unter denen wir leben, lichtvoll aufzuklären, hätten schon aus diesem Grunde alle Ursache, die dauernde Erhaltung von Mooren zu wünschen!

Digitized by Google

Literaturverzeichnis

Agassiz, A, Three cruises of the Blake. Bull. Mus. Comp. Zool. vol. 14.

Althans, R., Riegelbildungen im Waldenburger Steinkohlengebirge. Festschr. V. allgem. d. Bergmannstag, Breslau 1892.

Arber, E. A. N., Natural history of coal, Cambridge 1911.

Baltzer, A., Über den natürlichen Verkohlungsprozeß. Vierteljahrsschrift der naturf. Gesellsch. in Zürich, 17, p. 49—67, 1872.

Barrois, Ch., Etude de galets trouvés dans le charbon d'Aniche (Nord). Ann. Soc. Géol. Nord, 36, p. 248ff., Lille 1907.

—, Observations sur des galets de Cannel-coal du terrain houiller de Brnay. Ann. Soc. Géol. Nord, 37, p. 3ff., 1908.

Barsch, O., Die Pseudo-Cannel-Kohle. Jahrb. K. Pr. G. Landesanst. 29, 3, p. 431 bis 456, 1908.

v. Beroldingen, Beobachtungen, Zweifel und Fragen, die Mineralogie, besonders ein natürliches System betreffend, Hannover 1778, 2. Auflage 1792.

Bertrand, C. Eg., Conférences sur les charbons de terre. Bull. Soc. Belg. Géol., Paléont. etc., p. 45ff., 1893.

—, Nouvelles remarques sur le kerosene shale de la Nouvelle-Galles-du-Sud, Autun 1896. Ann. Soc. Géol. Nord, p. 161—164, 1897.

—, Les charbons humiques et les charbons de purins. (Travaux et mémoires de l'Université de Lille). Lille 1898.

—, Ce que les coupes minces des charbons de terre nous ont appris sur leurs modes de formation. Congrès internat. des mines etc. Lüttich, 1905, p. 365.

—, Notions nouvelles sur la formation des charbons de terre. Rev. du Mois, p. 323 bis 341, 1917.

Beyschlag, F., siehe Monke.

Binney, E. W., On the origin of coal. Mem. Manch. Phil. Soc. 8, 1848.

Bräunlich, F., siehe Donath.

Brongniart, A., Considérations sur la nature des végétaux. Mem. Institut France 28 pp., 1838.

Broockmann, Über die Bildung und Zusammensetzung der Steinkohle. Entwick. Niederrheinisch-westf. Steinkohlenbergbau 1, p. 258ff., 1903.

Carne, J. E., The kerosene shale deposits of New South Wales. Memoirs geolog. Surv. New South Wales, Geology No. 3, p. 81, Sidney 1903.

Cayeux, L., Les tourbes immergées de la côte bretonne etc. Bull. Soc. géol. France (4), VI, 1907, p. 142ff.

v. Chamisso, Adalbert, F. Hoffmann u. Christian Poggendorf, Über das Torfmoor zu Linum. Archiv für Bergbau u. Hüttenwesen, 5, Berlin 1822.

v. Chamisso, A., Untersuchung eines Torfmoores bei Greifswald u. ein Blick auf die Insel Rügen. Archiv für Bergbau und Hüttenwesen, 8, p. 129—139, 1824.

Digitized by Google

Conwentz, H., Monographie der baltischen Bernsteinbäume. Danzig 1890.
Cornet, J., La formation des Charbons etc. des pétroles. Géologie III, p. 1—103, 1913.
Coulter, S. M., An ecolog. compar. some typical swamps areas. 15th Ann. rep. Miss. botan. Garden, p. 57—58, 1904.
Czapek, Biochemie der Pflanzen. Jena 1905.
Dau, Joh. Heinr. Christ., Neues Handbuch über den Torf. Leipzig 1823.
—, Allerunterthänigster Bericht a. d. königl. Rentenkammer über die Torfmoore Seelands. Kopenhagen u. Leipzig 1829.
Darwin, Ch., Biographie I.
v. Dechen, H., Geogn. Bemerk. nördl. Abfall niederrh.-westf. Gebirges. Das Gebirge in Rheinland-Westfalen, herausg. von Noeggerath, Bonn, p. 117 ff., 1823.
Degener, Joh. Hartm., Physikalische u. chemische Erörterung vom Torf. Frankfurt u. Leipzig 1760.
Detmer, Botan. u. landwirtsch. Studien auf Java. Jena 1907.
Dittmar, C., Mikrosk. Untersuch. der aus kristallin. Gesteinen herrührenden Auswürflinge des Laacher Sees. Verh. naturh. Ver. Rheinl. und Westf., 44, p. 477 ff., 1887.
Donath, Ed., Der Graphit. Eine chemisch-technische Monographie. Wien 1904.
—, Die Steinkohle und ihre wirtschaftliche Ausnutzung. Bericht über den Allgem. Bergmannstag in Wien. Herausg. von Komitee, p. 57—73, Wien 1904.
—, Die fossilen Kohlen. (Vortrag.) Zeitschr. f. angewandte Chemie, H. 15, p. 657 bis 668, 1906.
— u. Bräunlich F., Zur Kenntnis der fossilen Kohlen. Chemiker-Zeitung, p. 180, Cöthen 1904.
Eberhardt, Ph., Influence de l'air sec et l'air humide sur la forme et la structure des végétaux. Ann. sc. nat. Bot., 18, p. 61—155, 1903.
Ehrenberg, C. G., Über die Dysodil genannte Mineralspecies als ein Produkt aus Infusorienschalen. Poggendorfs Annalen, 48, p. 573, 1839.
—, Weitere Unters. mikrosk. organ. Verhältn. usw. Verh. k. preuß. Akad. Wissenschaften, p. 158 ff., Berlin 1846.
—, Über drei neue Infusorien — Biolithe der Braunkohle usw. Verh. k. preuß. Akad. Wissensch., p. 8 ff., Berlin 1848.
Engel, Th., Geognostischer Wegweiser durch Württemberg, 2. Aufl., p. 182, Stuttgart 1896.
Engler, C., Das Erdöl von Baku. Dinglers Polytechn. Journal, 67, p. 337 ff. 1886.
—, Entstehung des Erdöls. Fortschritte der naturwissenschaftlichen Forschung, herausgegeben von Abderhalden, 1, Wien u. Berlin 1910.
— und H. v. Höfer, Das Erdöl, 5. Bd., Leipzig 1911.
Fayol, H., Bassin houiller de Commentry. Bull. Soc. ind. minérale, 15, 1886.
—, Sur la théorie des deltas et histoire de la formation du bassin de Commentry. Bull. Soc. géol. de France, p. 968 ff., 1888.
v. Fritsch, Über die Entstehung der Braunkohlen, besonders der Schweelkohlen. IV. Allgem. deutscher Bergmannstag Halle a. S., p. 70—78, Halle 1890.
Früh, J., Über Torf und Dopplerit. Zürich 1883.
—, Kritische Beiträge zur Kenntnis des Torfes. Jahrb. k. k. geol. Reichsanstalt, 35, p. 677—726, Wien 1885.
Genau de Lamalière, Sur les bois de Conifères des tourbières. C. R. ass. av. sciences, p. 511—512, 1900.
Goeppert, H. R., Abhandlung. Preisschrift über Bildung der Steinkohlenlager. Haarlem 1848.
v. Goethe, J. W., Dichtung und Wahrheit, II. Teil, 10. Buch.
Goldenberg, Flora saraepontana fossilis, I, 1855.

Digitized by Google

Gosselet, J. u. Ladrière, Note sur la coupe du canal d'Andruick et sur le tuf calcaire de St.-Pierre. Ann. Soc. géol. du Nord, 21, p. 139ff., 1893.
Gothan, W., Über die Entstehung von Gagat und damit Zusammenhängendes. Naturw. Wochenschr., 21, p. 17—24, 1906.
—, Zur Entstehung des Gagats. Sitzungsber. K. Pr. Akad. Wissensch., p. 221—227, 1908.
—, Untersuchungen über die Entstehung der Lias-Steinkohlenflöze bei Fünfkirchen. Sitzungsber. K. Pr. Akad. Wissensch., p. 129—143, 1910.
—, Kohlen. Handw. d. Natw., V, p. 810ff.
—, Pflanzengeographisches aus der palaeozoischen Flora. Englers Bot. Jahrb. 52, p. 221ff, 1915.
—, Epidermen einiger Neuropteriden des Carbons. Jahrb. Preuß. Geol. L.-A., 35, II, p. 373, 1914; vergl. auch Sitzungsber. Natf. Fr., p. 43, Berlin 1915.
—, Das Alter der Karbonformation nördl. der Roer etc. Glückauf 35, p. 477, 1919.
Grand'Eury, C., Recherches géobotaniques sur les forêts et sols fossiles etc. Lief. 1, 1912; 2, 1913, T. 1—20. Weitere Lief. nicht erschienen.
—, Mémoire sur la formation de la houille. Ann. d. mines, p. 249 (153), Paris 1882.
—, Formation des couches de houille et du terrain houiller. Mém. de la soc. géol. de France, 3. sér., t. 4, III, Paris 1887.
—, Géologie et paléontologie du Bassin houiller du Gard. Saint-Etienne. 1890.
Green u. a., Coal, its history and uses. London 1878.
Gresley, W. S., Notes on the form of coal-seams etc. Quart. Journ. Geol. Soc. 43, p. 671, 1887.
v. Gümbel, C. W., Beiträge zur Kenntnis der Texturverhältnisse der Mineralkohlen. Sitzungsber. K. bayer. Akad. Wissensch., p. 111—211, München 1883.
—, Geologie von Bayern, 2, p. 322—346, Cassel 1894.
Haberlandt, G., Physiologische Pflanzenanatomie, 4. Aufl., 1909.
Halle, Th G., Upright Equisetites-stems etc. Geol.-Mag. V., 10, p. 3, 1913.
Harz, C. O., Über den Dysodil. Botan. Centralblatt, 37, p. 39—43 u. 72—74, 1889.
Hauer, Über das Verhältnis des Brennwertes der foss. Kohlen in der österreich. Monarchie zu ihrem Formationsalter. Jahrb. k. k. geolog. Reichsanstalt, p. 229—328, 1863.
Heer, O., Urwelt der Schweiz. Zürich 1865.
Heinhold, Über die Entstehung des Pyropissits. Jahrb. kgl. Preuß. Geol. L.-A. u. B.-A., 27, p. 114—158, 1906.
Hellmann, Regenkarte von Deutschland.
Hickling, G., A contribution to the micropetrology of coal. Trans. Inst. Min. Eng. 53, 3, p. 137ff., 1917.
Hofer, H., Das Erdöl, 3. Aufl., Braunschweig 1912.
Hornung, Fr., Über Petroleumbildung. Zeitschr. d. D. Geol. Ges., p. 534—556, 1905.
Hutton, W., Observations on coal. Lond. a. Edinb. philos. Magazine a. Journ., 2, p. 302ff., 1833.
Inostranzeff, A., Ein neues Glied in der Reihe der amorphen Kohlenwasserstoffe. Neues Jahrb. Min. etc., p. 97ff., 1880.
Janensch, W., Über Torfmoore im Küstengebiet des südl. Deutsch-Ostafrika. Arch. Biontol. III, p. 265ff, 1914.
Jeffrey, E. C., The nature of some supposed algal coals. Proc. Am. Ac. Arts Sci. 46, p. 273ff., 1912.
—, on the composition and qualities of coal. Ec. geol., p. 130ff., 1914.
Jongmans, W., Palaeobotanisch-stratigraphische Studien im niederländischen Karbon etc. Arch. Lagerstättenf. Berlin, 18, 1915.
Karczewski, Stanislaus, Sur la microstructure de la houille de Dombrova en Pologne. Pam. Fiz., 19, 1906.

Digitized by Google

KEFERSTEIN, CH., Geognostisch-geologische Untersuchungen über den Torf usw. Deutschland, geogn.-geol. dargestellt; Zeitschrift, herausgeg. von CH. KEFERSTEIN, 4, p. 1—88, Weimar 1826.

KEILHACK, K., Über tropische u. subtropische Torfmoore auf der Insel Ceylon. Jahrb. Pr. Geol. L.-A. 36, II, p. 102ff., T. 4—29, 1915 u. a. a. O.

KENNGOTT, G. A., Mineralogische Untersuchungen, Heft 2, Breslau 1850.

KLAPROTH, M. H., Beiträge zur chemischen Kenntnis der Mineralkörper, 4, p. 375, 1807.

KOORDERS, S. H., Beobachtungen über spontane Neubewaldung auf Java. Forstl. naturwiss. Zeitschrift IV, 1895.

—, Ein von der holländisch-indischen Sumatra-Expedition entdecktes Tropenmoor. Vgl. POTONIÉ in Naturwiss. Wochenschrift, 42, 1907.

KRAEMER, G. u. SPILKER, A., Zur Theorie der Naphtabildung. Chemiker-Zeitung, p. 144—145, Cöthen 1899.

—, Das Algenwachs und sein Zusammenhang mit dem Erdöl. Berichte d. deutschen chem. Ges., p. 1212—1223, 1902.

KRÄUSEL, R., Die Pflanzen des schles. Tertiärs. Jahrb. Preuß. Geol. L.-A., 38, II, 1/2, p. 1ff., 1919.

KUKUK, Erdöl im Steinkohlengebirge des Ruhrbezirks. Glückauf, 45,1, p. 60 u. 457, 1909.

—, Unsere Kohlen. Leipzig 1913, 2. Aufl. 1920.

KÜNKLER, A. u. SCHWEDHELM, H., Die Bildung des Erdöls aus fettsauren Alkalien. Seifensiederzeitung, 35, 1908.

KUNTZE, O., Phytogeogenesis. Leipzig 1884.

LADRIÉRE, siehe GOSSELET.

LENIQUE, Nouvelle théorie chimique de la formation des roches terrestres. Mem. A. C. R. des trav. Soc. ingén. civ. de France, p. 346—370, 1903.

LESQUEREUX, L., Über Swamps. Zeitschr. D. Geol. Ges., p. 695, 1852.

LINCK, G., Über die Bildung der Oolithe u. Rogensteine. Jenaische Ztschr. f. Naturw., 45, p. 267—270.

LINK, H. FR., Über den Ursprung der Steinkohlen u. Braunkohlen nach mikrosk. Untersuchungen. Sitzungsber. math.-naturw. Kl. k. preuß. Akad. Wissensch. Berlin 1838.

LOGAN, W. E., On the character of the beds of clay immediately below the coal-seams of S. Wales. Trans. Geol. Soc. London, 6, 1842.

LOHEST, M., La houille en Campine. Ann. Soc. Géol. Belgique, 29, 1905.

DE LUC, JOH. ANDR., Physikalische u. moralische Briefe über die Geschichte der Erde u. des Menschen. Leipzig, 2, p. 334—335, 1782.

LUDWIG, F., Chem. Unters. einiger Mineralseen ostsib. Steppen. Zeitschr. Prakt. Geol., p. 140ff., 1903.

LUZI, W., Beiträge zur Kenntnis des Graphitkohlenstoffes. Zeitschr. ges. Naturw. Halle, 64, p. 224ff., 1891.

LYELL, CH., Reise in Nordamerika, p. 320—321, 1845.

—, Principles of geology II, 11. Aufl., p. 143, 1872.

MARPMANN, Beitr. Theorie der geschichteten Gesteine. Ber. naturf. Gesellsch. Leipzig 1898.

MENTZEL, Beitr. Kenntn. Dolomitvorkommen in Kohlenflözen. Glückauf, 40, 2, p. 1164 bis 1171, 1904.

MENZEL, P., Über die Flora der Senftenberger Braunkohlenablagerungen. Abhandl. Kgl. Preuß. Geol. Landesanstalt, N. F., 46, (p. 149—150), 1906.

MEYN, L., Geognostisch topographische Beschreibung der Hamburger Hallig. Zeitschr. Deutschen Geol. Ges., 24, p. 20—29, 1872.

MOHR, K. FR., Geschichte der Erde. Bonn, 1. Aufl., 1866, 2. Aufl., 1875.

MÖLLER, A. Aus dem südbrasilianischen Urwalde. Forstliche Blätter, p. 229—326, 1891.

MONKE, H. u. F. BEYSCHLAG, Über das Vorkommen des Erdöls. Zeitschr. prakt. Geologie, 13, p. 65—68, 1905.

Digitized by Google

MuellER, P. E., Studien über die natürlichen Humusformen und deren Einwirkung auf Vegetation und Boden. Berlin 1887.

Muck, Die Chemie der Steinkohle. 1891.

Natterer, K., Chemisch-geolog. Tiefseeforschung. Geogr. Zeitschr., 5, 1899.

Naumann, C. Fr., Lehrbuch der Geognosie, 2, p. 513—578, Leipzig 1854.

Neuberg, C., Die Entstehung des Erdöls. Sitzungsber. Preuß. Akad. Wissensch., p. 451—455, 1907.

Newton, E. F., On Tasmanite and Australian White Coal. Geol. Mag., II, p. 337 ff., 1875.

Parkinson, J., Organic remains of a former world 1804—1811.

Petzoldt, A., Über Calamiten und Steinkohlenbildung, p. 27, 1841.

Petzoldt, A., Beitrag zur Kenntnis der Steinkohlenbildung. Leipzig 1882.

Philippi, E., Die Fauna des unteren Trigonodus-Dolomits vom Hühnerfeld bei Schwieberdingen und des sogen. Cannstatter Kristenmergels. Jahreshefte Ver. vaterländ. Naturkunde Württemberg, 1898.

Philipps, Manual of Geology, p. 613, London 1855.

Potonié, H., Anatomie der beiden „Male" auf dem unteren Wangenpaar und der beiden. Seitennärbchen der Blattnarbe des Lepidodendron-Blattpolsters. Ber. Deutsch. Botan. Ges., 11, 1893.

—, Über die Volumenreduktion bei Umwandlung von Pflanzenmaterial in Steinkohle. Glückauf, 29, p. 1209—1211, 1893.

—, Über Autochthonie von Carbonflötzen und des Senftenberger Braunkohlenflötzes. Jahrbch. Kgl. Preuß. Geol. L.-A. für 1895, p. 1—31, 1896.

—, Die floristische Gliederung des deutschen Carbon und Perm. Abhandl. Kgl. Preuß. Geolog. Landesanstalt, N. F., 21, 1896.

—, Lehrbuch der Pflanzenpalaeontologie, 1. Aufl., Berlin 1897—99.

—, Die Art der Untersuchung von Carbon-Bohrkernen auf Pflanzenreste. Nat. Wochenschrift, N. F., 1901.

—, Eine rezente organogene Schlammbildung des Cannelkohlen-Typus. Jahrb. Kgl. Preuß. Geol. Landesanstalt für 1903, 24, 1904.

—, Über rezenten Pyropissit. Zeitschr. Deutsch. Geolog. Ges., p. 255—259, 1905.

—, Klassifikation und Terminologie der rezenten Humus- u. Sapropel-Gesteine. (Als Manuskript gedruckt.) 1905.

—, Zur Frage nach den Urmaterialien der Petrolea. Jahrbch. der Kgl. Preuß. Geolog. Landesanstalt für 1904, Berlin 1907.

—, Die Entstehung der Steinkohle und verwandter Bildungen, einschließlich des Petroleums, 4. Aufl., Berlin 1907.

—, Über rezente allochthone Humusbildungen. Sitzungsber. Kgl. Preuß. Akad. Wiss., 1908.

—, Die rezenten Kaustobiolithe und ihre Lagerstätten. Abhandl. Kgl. Preuß. Geol. L. A., N. F., Heft 55, T. 1—3a, Berlin 1908.

—, Eine naturwissenschaftliche Exkursion durch Süd-Canada. Naturwiss. Wochenschrift, N. F., 8, p. 225—234, p. 241—247, 1909.

—, Die Tropen-Sumpfflachmoornatur der Moore des produktiven Carbons. Jahrbch. Kgl. Preuß. Geol. L. A., Berlin 1909.

Raefler, F., Die Entstehung der Braunkohlenlager zwischen Altenburg und Weißenfels. Halle 1911.

Ramann, E., Torf und Mineralkohlen. Z. D. G. Ges., 1896, p. 429—30.

—, Organogene Bildungen der Jetztzeit. Zeitschr. Deutsch. Geolog. Ges., 48, p. 423 bis 430, 1896.

—, Bodenkunde, 2. Aufl., Berlin 1905.

Reinsch, P. F., Neue Untersuchungen über die Mikrostruktur der Steinkohle des Carbons, der Dyas und Trias. Leipzig 1884.

Digitized by Google

RENAULT, Etudes sur le terrain houiller de Commentry, Flore foss., II., St. Etienne 1890.
RENIER, A., Mode de formation du terrain houiller belge. Ann. Soc. géol. Belg. 32. Mém., p. 261 ff., 1906.
—, Les méthodes paléontologiques pour l'étude stratigr. du terrain houiller. Rev. univ. mines, métall. etc., 4. sér., p. 1—176, 1908.
RIGAUD, F., La formation de la houille. Revue scientif. 4,2, p. 385, 1894.
RÖMER, F., Über das Vorkommen von Gneiß- und Granulit-Geschieben in einem Steinkohlenflötze Oberschlesiens. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., 16, p. 615—617, 1864.
ROTH, J., Die Kugelform im Mineralreiche und deren Einfluß auf die Absonderungsgestalten der Gesteine. Leipzig 1844.
ROTHPLETZ, A., Über die Flysch-Fucoiden und einige andere fossile Algen, sowie über liasische Diatomeen führende Hornschwämme. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., 48, p. 854—914, 1896.
SAUER, A., Mineralogische u. petrograph. Mitt. sächs. Erzgeb. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges., 37, p. 441 ff., 1885.
SCHENK, H., Über das Aërenchym, ein dem Kork homologes Gewebe bei Sumpfpflanzen. Jahrb. f. wissensch. Bot., 20, p. 526—574, 1889.
SCHEUCHZER, J. J., Herbarium diluvianum. Zürich 1709.
SCHIMPER, A. F. W., Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. Jena 1898.
SCHULZE, FR., Briefl. Mitteilung über Vorkommen wohlerhaltener Cellulose in Braunkohle und Steinkohle. Sitzungsber. Berl. Akad. Wissensch., p. 676, 1855.
SCHULZE, FR. E., Die Xenophyophoren der amerikanischen Albatros-Expedition 1904/05. Sitzungsber. Gesellsch. Natf. Freunde, p. 205—229, Berlin 1906.
SCHWEDHELM, H., siehe KÜNKLER.
SEWARD, A. C., Catalogue of the mesozoic plants in the department of geology British Museum (Natural History). The jurassic Flora II, p. 62—72, London 1904.
SHALER, O., General account of the fresh water morasses U. S. with the descript. of the dismal swamp district of Virginia and North Carolina. 10. Ann. rep. U. S. Geol. Surv. P. 1, 1890.
SOLGER, F., Die Moore in ihrem geographischen Zusammenhange. Zeitschr. Gesellsch. für Erdkunde, p. 702—717, Berlin 1905.
SORBY, On the remains of a fossil forest in the coal measures at Wadsley near Sheffield. Quart. Journ. Geol. Soc., 31, p. 458—459, 1875.
SPÄTE, FR., Die Bituminierung. Dissert. Berlin 1907.
SPILKER, siehe KRÄMER.
STAHL, A. F., Zur Theorie der Naphtabildung. Chemiker-Zeitung, p. 144—145, Cöthen, 22. Febr. 1899.
—, Beobachtungen in den Kirgisensteppen. PETERMANNs Mitteil., p. 106 ff., 1901.
—, Some theories of the formation of Petroleum. Petroleum, p. 935 ff., 4. April 1903.
STERZEL, J. T., Cännelkohle und „bituminöser Schiefer" im Hoffnungsschacht bei Lugau. 14. Ber. Naturwiss. Ges. Chemnitz, p. LXV, 1900.
—, Paläontologischer Charakter der Steinkohlenform. u. d. Rotl. v. Zwickau, 2. Aufl. 1901.
STEVENSON, J. J., The Sargasso sea. Science, N. S. 32, p. 841, 1910.
—, The coal-basin of Commentry in Central France. Ann. New York Ac. Sci. 19, p. 161—204, 1910.
—, The formation of coal beds. Proc. Amer. Phil. Soc. 50, p. 1—116, 519—643, 1911; 51, p. 423—553, 1912; 52, 31—162, 1912. Ein Quellenwerk 1. Ranges.
—, Interrelations of fossil fuels. I. Proc. Am. Phil. Soc., 55, p. 21—203, 1916; II. Ebenda p. 53—151, 1917; III. p. 1—48, 1918.
—, Origin of Formkohle. Amer. Journ. science, 43, 1917.
STOPES, M. C. und WHEELER, R. V., Monograph on the constitution of coal. London 1918.

Digitized by Google

STOPES, M. C. u. WATSON, D. M. S., On the present distribution and origin of the calcareous concretions in coal seams known as coal balls. Phil. Trans. R. Soc. London B. 200, p. 167, 1908.

STOPES, M. C., On the four visible ingredients in banded bituminous coal. Proc. Roy. Soc. B. 90, p. 470ff., 1919.

STRAHAN, A., On the passage of a seam of coal into a seam of dolomite. Quart. Journ. Geol. Soc., 57, p. 297—304, 1901.

STREMME, H., Zur Frage der Eigenwärme bituminöser Gesteine. Monatsber. Deutsch. Geol. Gesellsch., p. 183, 1904.

—, Die Bituminierung. Monatsber. Deutsch. Geol. Gesellsch., 59, Nr. 6/7, 1907.

STUR, D., Über die in Flözen reiner Steinkohle enthaltenen Stein-Rundmassen und Torf-Sphaerosiderite. Jahrb. K. K. Geol. Reichsanstalt, 35, p. 613—625, 1885.

TASCHE, Temperatur-Verhältnisse in Braunkohlenbergwerken usw. 3. Ber. Oberhessischen Gesellsch. Nat.- u. Heilkunde, p. 11ff., Gießen 1853.

TOULA, F., Die Steinkohlen. Wien 1888.

UNGER, FR., Die Urwelt in ihren verschiedenen Bildungsperioden. Wien 1851.

UTHEMANN, A., Die Braunkohlenlagerstätten am Meißner, am Hirschberg und am Stellberg. Berlin 1892.

VOIGT, J. K. W., Versuch einer Geschichte der Steinkohlen, der Braunkohlen und des Torfes. Weimar 1802.

VOLKENS, G., Die Flora der ägyptisch-arabischen Wüste. 1887.

WAHNSCHAFFE, F., Anzeichen für die Veränderungen des Klimas seit der letzten Eiszeit im norddeutschen Flachlande. Zeitschr. D. Geol. Gesellsch., 62, 2, p. 268. 1910.

WEINSCHENK, E., Die gesteinsbildenden Mineralien. 2. Aufl., 1907.

WEITHOFER, K. A., Beiträge zur Kenntnis fossiler Kohlen. Zeitschr. f. Prakt. Geol., p. 249—262, 1914.

—, Die historische Entwickelung der Ansichten über die Entstehung der Kohlen und Kohlenflöze. N. J. Min. Beilageb. 41, p. 149—236, 1916.

WHITE, D., Some problems of the formation of coal. Econ. Geol. III, p. 292, 1908.

—, Resins in paleozoic plants and in coals of high rank. U. S. A. Geol. Surv. Prof. pap. 85 E, p. 65, 1914.

WIEGMANN, Über die Entstehung, Bildung und das Wesen des Torfes. Braunschw. 1837.

WIESNER, C. A., Beitrag zur Kenntnis der Seekreiden und des kalkigen Teichschlammes der jetzigen und früheren geol. Perioden. Verhandl. physik. mediz. Gesellsch. Würzburg. p. 34ff., 52ff., 1893.

WILK, L., siehe ZAILER.

WINTER, H., Die mikroskopische Untersuchung der Kohle im auffallenden Licht. Glückauf, p. 1406, 1913. — Die Streifenkohle, ebenda, p. 545, 1919.

ZAILER, V. und WILK, L., Über den Einfluß der Pflanzenkonstituenten auf die physik. u. chem. Eigenschaften des Torfes. Zeitschr. landw. Vers.-Wesen Österreichs, 10, p. 787—816, 1907.

ZEILLER, R., Etudes sur le terrain houiller de Commentry Flore foss. I, 1888.

v. ZITTEL, K. A., Geschichte der Geologie und Palaeontologie bis Ende des 19. Jahrhunderts. München und Leipzig 1899.

Digitized by Google

Register

Die Zahlen mit einem * beziehen sich auf Abbildungen

A.

Agassiz 135.
Aristoteles 201.
Agricola 6.
Akaustobiolithe 2.
Alaunschiefer 78.
Alaunton 78.
Albertit 93.
Albizzia moluccana 155.
Alethopteris Davreuxi 198.
Algal coal 71.
Algen 58, 67, 71.
Algenkohle 71.
Algen-Wasserblüte 20, 84, 85.
allochthone Sedimentierung 18.
Allochthonie 10, 18.
Allochthonie, ihre Charaktere 114.
Alloiopteris sarana 198.
Alnus glutinosa 35, *37, 40, 50, 179, 184.
Alnus-Pollen *26.
Alsophila 160.
Althans 144.
Amphisyleuschiefer 77.
Anaximenes 5.
Andromeda calyculata 36, *39.
Andrårumkalke 89.
Annularia pseudostellata 198.
Annularia sphenophylloides 198.
Annularia stellata 195, 198.
Anschwemmungstheorie 8.
Antevs 153.
Anthraces 3.
Anthracit 96, 104.
anthracitische Stengelkohle 106.
Anthrakonit 90.
Aphanocapsa pulchra 48.
Aphlebien *166, *167.
aquatische Autochthonie 18.
armorikanische Alpen 153.
Artemia salina 95.
Arundo phragmites 9, 35, *43, 44, 116, 124, 188.
Asche, primäre und sekundäre 51.
Aspergillus 94.
Asphalt 88, **93**.
Asphaltkalke 76, 89.
Asphaltschiefer 88.
Astromyelon 123.
Astromyelon (Anatomie) *171, 172.
Asterophylliten 187.
Atemwurzeln *159.
Augen, Augenkohle 114.
Australian white coal 212.
autochthone Sedimentierung 18.
Autochthonie 10, 18.
Autochthonie, ihre Charaktere 114.

B.

Baikerit 93.
Baltzer 107.
Bärlappsamen 48.
Barrois 146, 152, 190.
Barsch 66, 67.
Bastkohle 103.
Bathvillit 71.
Baumfarne 165, 170, 183.
Beckerit 205.
Belemniten 81.
Bergius 99.
Bergtalk 205.
Bernstein 201.
Bernsteinbäume **202**.

Digitized by Google

Bernstein, schwarzer 81.
Bernsteinwald 202—205.
Bergöl 82.
Bergteer 93.
Bergpech 93.
Bergwachs 92.
Berliner Infusorienerde 77.
BEROLDINGEN 7, 8.
BERTELS 83.
BERTHELOT 82.
BERTRAND 6, 14, 56, 58, 61, 70, 72, 73, 74, 80, 84, 187.
Betulaceae 48, 50.
Betula-Pollen *26.
Betula pubescens 36, 174.
BINNEY 150.
BEYSCHLAG 88.
Bidens cernuus *33.
Biolith 2.
Birke 48.
Bitumen 16.
bitumen fluidum 81.
bitumen judaicum 93.
Bituminierung 16.
Bituminit 71.
bituminöse Braunkohle 205.
— Gesteine 52.
— Hölzer 200.
— Holzerde 205.
— Kalke 52, 70.
— Mergelschiefer 76.
bituminöser Fischschiefer 73.
bituminöse Schiefer 56, 69, 71.
— Tone 70.
bituminous shale 71.
Blackband 78.
Black Cannel 72.
Blätterkohle 68, 71.
Blätterton 68.
Blattelkohle 74.
Blattkohle 68, 103.
blättriges Erdpech 68.
BLEICHER 60.
Blüten-Stammbürtigkeit 168.
bodeneigen 10.
bodenfremd 10.
Börnstein 201.
Boghead, Bogheadkohle *55, 58, 67, 71.
Boghead-Cannel(kohle) 67, 69, 71, 84.
Boghead-Mineral 71.
Bohrkern, B.-Untersuchungsmethode 193—198.
Borkenbildung 182.
Bosmina *25, *26.
Bothrodendraceen 182.
BOWER 80.
Brandschiefer 72.
braune Cannelkohle 72.
— Kohle 212.
brauner Ölschiefer 72.
braunholzige Kohle 102.
Braunkohlen 53, 206.
Braunkohle, autochthone *138.
Braunkohle, gemeine 140.
Braunkohlenholz-Gerölle *141.
Braunkohlenlager, sekundär-allochthone *209, *210.
Braunkohlentagebau mit autochthonen Baumstümpfen *120.
Braunkohle, sekundär-allochthone *139, *142.
Braunkohlenmoore 180, 185.
BRÄUNLICH 100.
Brennstein 201.
Brettelkohle 72, 74.
Brettwurzeln *159, 161.
BROOCKMANN 104.
Bröckelkohle 138.
Bröckeltorf 138.
BRONGNIART 9, 102.
brown coal 212.
— cannel 72.
— oilshale 72.
BROWN, RICHARD 118.
BRUNNER 81.
BUCH 83.
Buchen 202.
BUREAU 49.
Burseraceae 159.
Buschmannskerze 46.

C.

Calamariaceen 123, 164, 168, 170, 180, 194.
Calamariaceen mit Etagenbau *173.
Calamariaceenwurzeln *171, 172.
Calamitenzone 164.
Calamites Suckowi 118, 195.
Calamus 160, 162.
calcareous nodules 149.
Callipteris 108.
Candelit 72.
Cannel-Coal 53.
Cannelkohle 53, 58, 67, 72, 147.

Digitized by Google

CAR 83.
Carapa obovata 161.
carbones fossiles 3.
carbones lapidei 3.
carbones terrei 3.
Carbonkohle 199.
Carbonmoore 186.
Carbonmoorflora 162ff.
Carbonwälder 187.
Carex 9.
Carex gracilis 35.
CARNE 74, 75, 81.
CARPENTIER 187.
Carpinus betulus 97.
Casseler Braun 140.
Catalpa 185.
Cauliflorie 168.
CAYEUX 188.
CHAMISSO 9.
Characeen 20, 76.
charbon d'algues 71.
charbons de purins 73, 80.
charbons gélosiques 72.
charbons humiques 73.
Cherry coal 73.
Chlamydomonaden 94.
Chlorophyll 68, 101.
Chlorophyllkohle 68.
Chromsäurereaktion auf Sapanthrakon und Humuskohle 66.
CHURCH 212.
Cingularia typica 198.
Cladocerenreste *26.
clarain 67, 68.
CLARKE 72.
cloches 122.
coal balls 57, 149.
coal-pipes 122.
Coccolithen 80.
Cölner Braun 140.
Cölnische Umbra 140.
Coleopteren 79.
Commentry 163.
Commentryer Becken 137.
Coniferen 50, 61, 79.
concretionäre Bildungen 143.
CONWENTZ 202.
Copaifera 46.
Cordaïtes, Cordaitaceen 58, 153, 170, 174, 187.
CORDIER 52.
CORDUS 6.
Cornus sanguinea *37.
Corylus 50.
Corylus-Pollen *26.
COTTA 154.
COULTER 175, 178, 179.
Crustaceen 21, *26, 58, 70, 79, 94, 95.
Cyatheaceen 182.
Cycadaceen, Cycadales 79, 102.
Cyclostigma 124.
Cynometra 46.
Cyperaceae 42, 160.
Cypressen-Sümpfe *179, 185.
Cypress swamp *179, 185.
Cypris 61, 70.
Cypris-Schiefer 61.
CZAPEK 48.

D.

Dachsphaerosiderite 151.
DANNENBERG 187.
Daphnide *26.
DARWIN 14.
DAU 9, 14.
DAVID 74.
DAY 91.
DECHEN 118, 205.
DECKERT 179, 185.
DEGENER 6.
DE L'ISLE 49.
Delta-Moore 190.
Denhardtit 46.
DETMER 155.
Diatomaceae 13, *25, *26, 70, 76, 77, 94, 95, 157.
Diatomeen-Kalk-Sapropel 52, 77.
Diatomeenpelit 20.
Dickenwachstum von Carbonpflanzen 168.
DIETZ 100.
Dipteridinen 194.
Dipteris 194.
Dismal swamp 9.
DITTMAR 150.
Dolomit 150.
Dolomitknolle (Schliff) *57.
Dolomitknollen 149.
DONATH 100, 101.
Donetzbecken 149.
Dopplerit 24, 62.
Dopplerit-Kohlen 62.
Drosera 38.

Digitized by Google

Durain 67, 68.
Duxer Braunkohle 53.
Dysodil 13, 52, 68, 69, 76.

E.

Eberhardt 169.
Eckardt 153.
Ehrenberg 2, 68.
Eichen 202.
Eisen 77.
Eisensapropelite 77.
Elaterit 93.
Elektron 200.
Engler, C. 82ff., 100.
Equisetales 184.
Equisetiten-Röhrichtböden 124.
erdige Braunkohle 102.
Erdkohle 3.
Erdöl, Bildung von 95.
Erdpech 93.
Erdteer 93.
Erdwachs 92.
Ericaceen 36, 44, 71.
Eriophorum 9.
Erkelenz-Brüggener Horst 106.
Erle 48, 185.
Erlen-Standmoor 36 *37.
Erlensumpfmoor *35.
Etagenbau 38, *172.
Euosmit 205.
Euphorbiaceae 159.

F.

Fackelkohle 73.
Fadenalgen 160.
Fäkalkugeln 61.
Fäulnis 15.
Farn, autochthon eingebettet *135.
Farne 165, 184.
faseriger Anthracit 112.
Faserkohle 112.
Faujas-Saint-Fond 104.
Faulgallerte 50.
Faulkohlen 54, 73.
Faulschlamm 3, 15, 19.
Faulschlammgesteine 50ff.
Faulschlammseen 30, *31.
Fayol 10, 110, 136, 137.
Feinkohle *139.
fette Kohle 105.
Fettsäuren 100.
Feuerkohle 207.
Feuersteine 76, 77, 210.
Fichte 36, 48, 61.
Fichtelit 46, 211.
Fimme 112.
Fimmen 49.
Fimmenit *49, 212.
Fireclay 72.
Fischkohle 73.
Fischöl 87.
Flachmoore 153.
Flachmoortorf-Mikrophotogramm *23.
Flachmoor 29, 36.
Flechten 160.
Flözverdrückungen 144.
Florenwechsel, geologischer 192.
Floßhölzer 79.
Flysch 92.
Foraminiferen 75, 80, 89.
Foullon 147.
Fraser 12.
Freiesleben 205.
Fritsch 206, 208.
Früh 49, 154, 205.
Fucaceen 11.
Fucus 80.
Fusain 67, 68, 112.
Fusulinen *75, 89.
Fusulinen-Faulkalk *75.

G.

Gagat 79, 81.
Gagatit 81.
Gas coal 73.
Gasflammkohle 191.
Gaskohle 73.
Gasschiefer 73.
Gedanit 205.
Gelbe Braunkohle 205.
Gelbe Kohle 212.
Génau de Lamalière 101.
Genistpakete 151.
Gerölle 143.
Gerölle aus Kohle *141.
Glanzkohlen 53, 67.
Glattrindigkeit 158, 182.
Glen 119.
Glessit 205.
Globigerinenschlamm 60.
Glossopteris 53, 81.
Glyceria fluitans 35.

Digitized by Google

Goethe 110.
Goppert 7.
Goldenberg 180.
Gosselet 190.
Gothan 80, 95, 101, 108, 148, 195, 199.
Grahamit 73, 93.
Gramineae 160.
Grand'Eury 10, 123, 148, 174, 178, 180, 184.
Graphit 91, 105.
Graphitit 105.
Graphitoid 105.
graue Erdkohle 205.
Gray 185.
Green 48.
Grubengas 54.
Grundmann 158.
Gümbel 8, 16, 64, 72, 80, 81, 109.
Guttiferae 159.
Gymnospermen 8, 80, 160.

H.

Haberlandt 182.
Häcksel 128.
Häckselablagerung *131.
Häcksel, fossiler *130.
Häckselstranddrift *133.
Halbsumpf 19.
Haliserites Dechenianus 131.
Halle 124, 163.
Hartkohle 105.
Hartleyit 73.
Harz, C. O. 68.
Harz 102, 199.
Harze, ihre Bedeutung 200.
Harzhölzer 200.
Harzkörper 199.
Haselnuß 50, 185.
Hatchettin 93.
Hauer 77.
Heer 9.
Heidepflanzen 43.
Heinhold 210.
Hellmann 44.
Herodot 82.
Hexenmehl 48.
Hickling 7, 8, 66, 67.
Hochmoor 38.
Hochmoorrandzone *43.
Hochmoorrülle (-bach) *41, 42.
Hochmoorteiche *41.
Hoernes 106.
Höfer 80, 82, 90.
Holzkohle 7, 112.
Holzreste aus Steinkohle *7.
Hopfen 36.
Holzberge 133.
Holzkohle 67.
Hornschwämme 76, 80.
Hornung 73, 89.
Hottonia palustris 35.
Humboldt 9, 82, 201.
Humulus lupulus 36, *37.
Humus 2, 3, 15, 22, 62.
Humusbraunkohle 69.
Humuserde 23.
Humusgestein 2, 17, 22.
Humuskohlen 13, 24, 67, 96.
Humusort, Humusorterde, -stein 24, 26.
Humussäure 24.
Humussteinkohle *57.
Hunt 74, 90.
Hutton 7.
Hydrobia ulvae 190.

J.

Jacunski 93.
Jahn 87.
Jahresringe 168.
Jais 81.
Janensch 162.
Japanische Tertiärkohlen 104.
Jaulingit 205.
Jayet 81.
Ichthyol 87.
Jeffrey 7, 8, 56, 66, 68.
Jet 81.
Jetrock 80.
Infusorien 13, 59.
Inkohlung 16.
Inkrustate, Inkrustation 144, 149.
Inostranzeff 105.
Insekten 70, 79.
Insekten verdauende Pflanzen 38.
Intuskrustate, Intuskrustation 149.
Johnson 212.
Jongmans 106, 195.
Jonit 205.
Jordan 68.
Iris pseudacorus 35.
Isoëtes lacustris 172.
Isolierschicht 44.

Digitized by Google

Judenpech 93.
Jussiaea peruviana 176.
Ixolyt 205.

K.

Kännelkohle 72.
Kalksapropel 20.
Kannenpflanze 38.
Karbide 82.
KARCZEWSKI 7.
Katzenstein 73.
Kaustobiolith 1.
Kaustobiolithe, heutige 18.
KEFERSTEIN 5, 68.
KEILHACK 162.
KENNGOTT 205.
Kerosene Coal 73.
Kerosene shale *55, 73.
Kerosinkohle 73.
Kerosinschiefer 53, 73, 81, 87.
Kerzenkohle 73.
Kiefer 36, 48.
Kiefernpollen *25, *26.
Kieselalgen 21, 69, 94.
Kieselgur 20.
Kieselgurprofil *21.
Kieselkohle 68.
Kindibal 93.
Kir 93.
Kirschkohle 73.
KLAPPROTH 13.
Klarkohle 207.
Klebschiefer 77.
KLEIN, BALTHASAR 6.
Kletterfarne 165, 170.
Kletterpflanzen 36.
Klimazonen 154.
Kloake 80.
Knabbenkohle 139, 207.
Kniewurzeln *159.
Knisterkohle 108.
Knistersalz 93.
Knorpelkohle 207, 212.
Knorria 126, 132.
Kohlengerölle 148.
Kohlen, künstliche 97.
Kohlenblende 96.
Kohlendünnschliffe 68.
Kohleneisenstein 78.
Kohlenpfeifen 122.
KOHLER 144.
Kohle und Kohlenstoff 16.
Koks 16, 61, 106.
Kolm 74.
KOORDERS 154 ff.
Kopal 46, 205.
Koprolithen 58.
KRÄMER 84, 94.
Krantzit 205.
KRÄUSEL 186.
Kreiskohle 114.
Krümelkohle 140.
Krüppelkiefern 42.
Kugelkohlen 148.
KUKUK 87, 150, 152, 154.
KÜNKLER 89.
KUNTZE 10.
Kupferschiefer 52, 76.

L.

Lacrymaria caspia 95.
LADRIÈRE 190.
Laminarien mit Geschieben *145.
Landklimahochmoore 42.
LANGER 47.
Lanzen 134.
LARIVE 156.
Laubkohle 103.
Laubmoose 163.
lebendes Moor 28.
Lebermoose 160.
Leberopal 76.
Ledum palustre *39.
Leitformen 194.
LENIQUE 12.
Lenticellen 159—161, 182.
Lepidodendraceen 164, 170, 178, 183.
Lepidodendron 7, 170, 174, 178, *183.
Lepidophyten 123, 132, 170, 172, 174, 183, 187, 195, 212.
Lepidophytenstumpf mit Horizontalstigmarien *174.
LESQUEREUX 9, 185.
Leuchttorf 49.
Lianen 160, 165.
LIEBIG 15.
Lignit, lignite 102.
lignite bacillaire 103.
Lignit-Gerölle *141.
Lignitoid 67, 68.
limnische Reviere 188, 191.
LINCK, G. 150.

Digitized by Google

Lindley-Hutton 66.
Link, Heinr. Friedr. 7, 8.
Linopteris neuropteroides 199.
Liptobiolithe 2, 3, 15, 46, 53, 102.
Liptobiolithe, fossile 199.
Lithanthraces 3.
Lithothamnium 89.
Liquidambar 185.
Liversidge 212.
Logan 117, 118.
Lohest 91.
Lomax 151.
de Luc 7, 8.
Lucullan 74.
Ludwig 94.
Luftwurzelmantel 183.
Luftwurzeln *159, 161, 184.
Luzi 105.
Lycopodiales 174, 184.
Lycopodium 48, 49.
Lycopodium clavatum 47.
Lyginodendron 166.
Lyell 104, 117, 118, 134, 212.

M.

Mackenzie 74.
Macrocystis flos aquae 84.
magere Kohle 106.
Magnolien 185, 202.
Mangroven 161.
Marattiaceen 165, 182.
Markusson 101.
Marschmoore 190.
Marpmann 53.
Matonia 194.
M. Wiesneri 194.
Matoniaceae 194.
matte Wetter 96.
Matthiolus 5.
Matt-Kohlen 53.
Melanchym 205.
Meliaceae 159.
Melosira *25, 26.
Mendelejew 82.
Menilit, Menilitschiefer 76.
Mentzel 150.
Menyanthes trifoliata 9.
Menzel, P. 185.
Mergelschiefer 52.
Meteorpapier 64, *65.
Methan 54.
Meydenbauer 12.
Meyn 150.
Miesbacher Kohle 53.
Mineralische Holzkohle 112.
Mischwaldmoorzone 36.
Mistel 204.
Moder 17, 23.
Möller 154.
Mohr 12, 70, 133, 134.
Monke 88.
Monocotyledonen 160.
Moor 23, 26.
Moorausbrüche 143.
Moorbirke 36, 174.
Moorgelände im Memeldelta (schematisch) *43.
Moorkiefer *175.
Moorkohle 112.
Moortorf 15, 23, 26.
Moortorftheorie 8.
Moortypenverteilung auf der Erde *165.
Moose 160, 163.
mother of coal 67, 112.
Muck 66, 96.
Mueller, P. E. 78.
mürber Bernstein 205.
Mugelkohlen 148.
Muscites polytrichaceus 163.
Myristicaceae 159.
Myrrha 201.
Myrtaceae 159.

N.

Nadelkohle 103.
Nadelwaldmoorzone 36.
Naphtha 82.
Natterer 89.
Naumann 9, 12, 118.
Neuberg 85.
Neuropteris 108, 187.
— gigantea 198.
— ovata 198.
— Scheuchzeri 170, 198.
— tenuifolia 198.
Newton 212.
Niedermoor 36.
Nummuliten 75, 89.
Nymphaeaceae 22, *34, 134.
Nyŕan 74.
Nyssa 40, *175, 179.

Digitized by Google

O.

Obernkirchen 92.
Ölalgen 83.
Ölkohle 74.
Ölschiefer 69, 74, 86.
Oilshale 74.
oleum petrae 81.
Oolithe 151.
Opal 21, 76.
Opalknollen 76.
Orchis helodes 36.
Orterde, -stein 26.
— -Profil *27.
Oscillaria *26.
Ozokerit 92.

P.

Palaeoweichselia Defrancei 195, 198.
Palmella 70.
Palmen 103, 160, 202.
Pandanus 160.
Papageikohle 74.
Papierkohle 69.
Pappeln 185.
Pappendeckel 69.
Paraffinschiefer 74.
Paraffin shale 74.
paralische Reviere 153, 187, 188, 191.
Parallel-Häcksel *130, 131.
PARKINSON 6, 81.
Parrot Coal 74.
Pechkohle 81, 98, **104**.
Pecopteris *135, 170, 195, 198.
— hemitelioides 198.
— pennaeformis 198.
— plumosa *166, 167.
— unita 198.
Pediastrum *25, *26, 48.
Pelagochthonie 10.
Pelosiderite 77.
Penicillium 94.
Peridineen 76.
Petroleum 53, 54, 81, 100.
— -Cannelkohle 73.
— oil cannel coal 74.
PETZOLDT 97, 98, 108.
Pfahlbauten 29.
Pfahlwurzeln 161.
Pflanzenbarren 46.
Pflanzengemeinschaften 195.
Phacotus 76.
PHILIPPI 128, 129.
PHILIPPS 144.
Phragmites communis (s. auch Arundo) 10.
Phymatoderma 80.
phytogene Sapropelite 59.
Piauzit 205.
Picea ajanensis 202.
— excelsa 36, *39, 50, 61, 174.
Pila *55, 56, 58, 67, 74.
Pinus 50, 57.
— montana 163.
— silvestris 36, *39, *43, 50, 98, 173, 202.
— — mit Horizontalwurzeln *175.
— — -Pollen *25, *26, *48.
Pissasphaltum 82.
Plankton 20.
Plattelkohle 74, 169.
Pneumatophoren *159, *179, 180, 181, 185.
POISSON 49.
Polierschiefer 77.
Pollenkorn von Pinus silvestris *48.
Pollen-Wasserblüte 48.
Polycystis flos aquae 84.
Polypodiaceae 49.
Polytrichum 44.
Posidonien-(Posidonomyen-)Schiefer 52, 74, 76, 80, 87.
Posidonomya Bronni 79.
Potamogeton 20, 134.
POTONIÉ 11, 56, 67, 79, 153, 169, 186, 212.
POTONIÉ-GOTHAN 182, 187.
primäre Allochthonie 18.
primäre Asche 51.
prismatischer Anthracit 148.
PROKOP 28.
Protophyten 12.
Psaronien 172, 183.
Pseudo-Cannelkohle 62, 66.
Psilophyten 131.
Pteridophyten 131, 160.
Pteridospermen 170.
Pyramidenkohle 148.
Pyrit 78.
Pyropissit 205, 212.
— -Einlagerungen in Braunkohle *209.
pyropissitische Braunkohle 206.
Pyroretin 205.
Pyroschist 74.
Pyxidicula 80.

Digitized by Google

Q.

Quenstedt 80.
Quirinus 82.
Quirinusöl 82.

R.

Radiolarien 76.
Raefler 143, 212.
Rafts 46.
Ramann 78, 186.
Rangunöl 82.
Refikit 205.
Regenwaldcharakter der Karbonmoore 153 ff.
reine Schwelkohle 205.
Reinsch 12.
Reinschia *55, 56, 67.
Renault 10, 71, 136, 137.
Retinit 205, 208.
Rhizoiden 172.
Rhumbler 61.
Riegelbildungen 144.
Rieselkohle *139, 207.
Rigaud 12.
Robertson 73.
Römer 146.
Röhricht *34, 35.
Röhrichtböden 124, 211.
Röhrichtboden des Oligocäns *123.
—, rezenter *125, *126.
Rohhumus 23.
roof nodules 151.
Rosthornit 205.
Roth 97.
Rothpletz 80.
Rülle *41, 42.
Rumaenit 205.
Ruß, Rußkohle 112.

S.

Saccammina sphaerica 61.
Salz u. Petroleum 93.
Sambucus nigra *37.
Sapanthrakon 52.
sapanthrakonhaltiger Sapropelit *55.
Sapanthrakon-Kalke 52.
— -Tone 52.
Saprokoll 13, **50**, 51.
Saprodil 51, 69.
— -Kalke 52.
— -Tone 52.
Sapropel 3, 19, 52, 62.
— -Gesteine 50.
Sapropelitbank *33.
Sapropelite 2, 18 (rezente), 21, 50 (fossile), 52, 83, 84.
Sapropelite, Synonymik 68, 76, 77.
Sapropel-, Sapropelit-Kalke 21, 52, 75.
— -Kohlen 13, 52, 54, 67.
— -Mikrophotogramme *25, *26.
— -Mergel 52.
— -Teppiche 64, *65.
— -Töck *145.
— -Tone 20, 21, 52.
Sargasso-Meer 134.
Sargdeckel 122.
Sarcocaulon *47.
Sarracenia purpurea 38.
Sassafras 185.
Sauer 105.
Scenedesmus 48.
Schenk 176.
Scheuchzer 7.
Scheuchzeria palustris 9.
Schichtung und Schieferung von Kohlen 114.
Schieferkohle 69, 109.
—, künstliche 109.
Schieferung 54.
— von Sapropeliten 54.
schiefrige Cannelkohle 74
Schilfrohr 35, 42, 164.
Schilfrohrrhizom *172.
Schimper 156.
schiste bitumineux 71.
Schlämmtorf 138.
schlagende Wetter 92, 96.
Schlamm 19.
Schlammsumpf 19.
Schlauben 204.
Schlick 20.
Schmierkohle 211.
Schraufit 205.
Schröter 154.
Schulze, Franz 61, 101.
Schulze, Fr. Eilhard 61.
Schungit 105.
Schuppenbäume 174.
Schwaden 96.
schwarze Cannelkohle 72.
Schwarzerle *37, 40.
schwarzer Rahm 112.

Digitized by Google

Schwarzkohle 3.
Schwarzwässer 24.
Schwebeorganismen 19.
SCHWEDHELM 89.
Schwefel 1.
Schwefelkies 78.
Schwefelregen 48, 212.
Schwefelkohle 206, 212.
Schwingmoore 32.
sekundäre Atmungsöffnungen 183.
Sedds 46.
Seebälle 151.
Seeklimahochmoor 42.
Seekreide 85.
Seerosen 22.
Seggen 35.
sekundär-allochthone Kohlen 138.
sekundäre Allochthonie 18.
— Asche 51.
Selbstzersetzung 17.
Sequoia Langsdorffi 186.
— sempervirens 186.
Senftenberg 186.
SEWARD 80.
shaly cannel 74.
Siegburgit 205.
Siegelbäume 174.
Sigillaria, Sigillariaceen 7, 164, 168, 170, 174, *177 ff., *181, 182, *183.
— (Subsigillaria) Brardi *181, 184, 199.
— -Stammanschwellungen *176.
SILLIMAN 75.
Sium latifolium 35.
SKEATS 150.
Smilno-Schiefer 77.
snags 133.
SOLGER 186.
Sonnentau 38.
SORBY 122.
Sphärosiderite 77, 152.
SPÄTE 61.
Sphagnum, Sphagnaceen 38, *39, 41, 43, 44, 160.
Sphenophyllaceen 168, 195.
Sphenophyllum 169
Sphenophyllum cuneifolium *169, 195.
— myriophyllum 194, 195, 198.
Sphenopteris *166.
— Goldenbergi 198.
— Sauveuri 195, 198.
Spiegelkohlen 104.
SPILKER 84, 94.
Splentcoal, Splintcoal 74.
Splitterkohle 74.
Spongillen-Nadeln 70, 76.
Sporit 49.
Sporogonites exuberans 163.
STAHL 94, 95.
Standmoor 32, 36, *37.
Stangenkohle 148.
Staubgrübchen 182.
Staubkohle 140.
Steinkohle 3, 100.
Steinkohlenlager, Profil *4.
Steinkohlen-Moore 153, 162, 163.
Steinöl 82.
Steinrundmassen 147.
Stelzwurzeln 161.
stengeliger Anthracit 106.
Stengelkohle 106, 148.
Stephanopyxis 80.
Sterkome 61.
STERZEL 58, 117.
STEVENSON 15, 134, 137, 143, 154, 162.
Stigmaria *57, *115, 132, 172, *174, 184, 193.
Stigmaria-Appendices (Anatomie) *171.
Stigmarien, autochthone *115, *137, 143.
Stigmarien mit Baumstümpfen *119.
Stigmarienböden 116, 117, 164.
Stigmarienschiefer 117, 128.
Stinkkalk 52, 88.
Stinkkohle 69.
Stinkschiefer 52.
Stinkstein 74.
Stipit 102.
STOPES 7, 8, 66, 67, 100, 101, 150, 199.
STRAHAN 152.
Streifenkohle 24, *63, 64, 67.
STREMME 62, 110.
Strukturbietende Pflanzen 144.
Stückkohle 139.
STUR 78, 147.
subarktische Pflanzen 40.
submarine Torflager *189.
Succinit 201.
Succinum nigrum 81.
Sumpf 19.
Sumpfcypresse *179, 185.
Sumpfmoor 19, 32, *35.
Sumpfporst 36.
Sumpfschwertlilie 35.

Digitized by Google

Surturbrand 102.
Swamp 119, 185.
— mit Taxodium *179.
Symatit 205.
Syringodendron *177, 178, *181, 182, 183.

T.

TACITUS 28, 201.
Tasmanit 212.
Tang 9, 11.
Tangalgenkohle 131.
Tangtheorie 11.
TASCHE 13.
Taxodium 40, 120, *175, 178, *179, 185, 186.
Taxodium distichum 180.
Taxodium-swamps 185.
Tectona 155.
terra nigra 3.
terre bitumineuse feuilletée 69.
terrestrische Autochthonie 18.
THEOPHRAST 110.
Thiessen 8.
Toneisensteine 77.
Toneisensteinknollen 152.
Tonsapropel 21.
Tonsapropelit 54.
Torbane-hill-mineral 74.
Torbanit 74.
Torf 13, 23.
Torfdolomite 57, 163.
Torfgerölle 148.
Torfmoos 36, 38.
Torfrundmassen 78, 147.
Torfsphaerosiderite 78, 147.
Torfstich mit autochthonen Baumstümpfen *121.
totes Moor 28.
TOULA 12.
Trachylobium 46.
Transporttheorie 8.
Treibholz-Stranddrift *127.
Trentonkalk 90.
Trockenrisse in Kohle 141, *209.
Trockentorf 24, 26.
Trockentorfdecke *22.
Tropenklima 154.
Tropenmoor 40, 153ff.
Tropentorf 157.
Turfa, Turffa 104.
Turf of Marahu 61.

U.

Übergangsmoor 86.
Umbra 140.
Underclay 116.
UNGER 8.
Unterton 116.
Urtica dioeca 36, *37.
UTHEMANN 106.

V.

Varistische Alpen 153.
vegetabilische Kohle 206.
Verkohlung 16.
Verlander 33.
Verlandungsvegetation *33, *34.
Vermoderung 15.
Vertebraria 53, 81.
Vertorfung 15.
Verwesung 14.
Vitrain 67, 68, 199.
Vitriol-Schiefer 78.
Vitriol-Ton 78.
VOIGT 205.
VOLKENS 175.

W.

WACKENRODER 205.
Wachskohle 205.
Wachsschiefer 74.
WAHNSCHAFFE 190.
WALSER 29.
WARMING-GRAEBNER 187.
Wasserblüte 20.
Wasserfeder 35.
Wasserwanzen-Ei *26.
WATSON 150.
Weald-Kohlen 54, 92.
Weichkohle 105.
Weiden 185.
WEINSCHENK 90.
weiße Kohle 205, 212.
Weihrauch 201.
WEITHOFER 101, 104.
Wetter, schlagende usw. 96.
WHEELER 8, 66, 101.
Wheelerit 205.
WHITE 8, 199.
white coal 212.
WICHMANN 162
Widertonmoos 44.

Digitized by Google

Wiegmann 9.
Wiesner 85.
Wiesenflachmoor 35.
Wilk 113.
Williamson 66, 171.
Windwurf 123.
Winter 58.
Wöhler 82.
Wollongongit 75.

X.

Xeromorphie 187.
Xerophytische Merkmale der Karbonpflanzen 187.

Y.

Yellow Coal 212.

Z.

Zailer 113.
Zalessky 56, 149.
Zeiller 135, 136.
Zersetzungsprozesse 14.
Zimmermann 142.
Zittel 12.
zoogene Sapropelite 59.
Zoogloëites 57.
Zostera marina 9.
Zwischenmoor 29, 36, * 39.

Digitized by Google

Verlag von Gebrüder Borntraeger in Berlin W 35

Leitfaden der Kristallographie von **Geh. Hofrat Professor Dr. J. Beckenkamp,** Direktor des mineralog.-geologischen Instituts der Universität Würzburg. Mit zahlreichen Textfiguren.
Geheftet 33 Mk., gebunden 38 Mk.

Statische und kinetische Kristalltheorie von **Geh. Hofrat Professor Dr. J. Beckenkamp,** Direktor des mineralog.-geologischen Instituts der Universität Würzburg.

I. Teil: **Geometrische Eigenschaften der Kristalle und deren Veranschaulichung durch geometrische Strukturbilder.** Mit 303 Textfiguren. Gebunden 35 Mk.

II. Teil: **Theorie und Ausbreitung der Energie in Kristallen durch Strahlung (Kristalloptik und Strahlung der Atome).** Mit 487 Textabb. u. 7 Stereoskopbild. Gebunden 90 Mk.

Grundlagen der physikalisch-chemischen Petrographie von **Professor Dr. H. E. Boeke** in Halle a. S. Mit 168 Textfiguren und 2 lithographischen Tafeln. Gebunden 50 Mk.

Die Anwendung der stereographischen Projektion bei kristallographischen Untersuchungen von **Professor Dr. H. E. Boeke** in Halle a. S. Mit 57 Textabb. und 1 lithographischen Tafel. Gebunden 7 Mk.

Die gnomonische Projektion in ihrer Anwendung auf kristallographische Aufgaben von **Professor Dr. H. E. Boeke** in Halle a. S. Mit 49 Textfiguren. Gebunden 9 Mk.

Ausführliche Verlagsverzeichnisse kostenfrei

Digitized by Google

Verlag von Gebrüder Borntraeger in Berlin W 35

Geometrische Kristallographie des Diskontinuums von **Professor Dr. Paul Niggli** in Zürich. Mit 576 Seiten und 200 Textabbildungen. Geheftet 90 Mk., gebunden 110 Mk.

Lehrbuch der Mineralogie von **Professor Dr. Paul Niggli** in Zürich. Mit 560 Textabbildungen. Geheftet 80 Mk., gebunden 92 Mk. 50 Pfg.

Lehre von den Erzlagerstätten von **Professor Dr. Richard Beck.** Dritte, umgearb. Auflage. Zwei Bände mit 318 Figuren und einer Gangkarte. Gebunden 120 Mk.

Die mikroskopische Untersuchung der Erzlagerstätten von **Dr. Georg Berg**, Diplom-Bergingenieur. Mit 88 Textfiguren. Geheftet 18 Mk., gebunden 24 Mk.

Die wichtigsten Lagerstätten der „Nicht-Erze" von **Dr. O. Stutzer**, Professor an der Bergakademie Freiberg, Sa.

Erster Band: **Graphit, Diamant, Schwefel, Phosphat.** Mit 108 Textabbildungen. Gebunden 48 Mk.

Zweiter Band: **Kohle** (allgemeine Kohlengeologie). Mit 29 Tafeln und 113 Textabbildungen. Gebunden 48 Mk.

Die Typen der Bodenbildung, ihre Klassifikation und geographische Verbreitung. Handbuch der Bodenkunde von **Professor Dr. F. Glinka**, Direktor des landwirtschaftlichen Institutes zu Woronesch. Herausgegeben mit Unterstützung von **Professor Dr. H. Stremme.** Mit zahlreichen Textabbildungen. Gebunden 46 Mk.

Ausführliche Verlagsverzeichnisse kostenfrei

Digitized by Google

Verlag von Gebrüder Borntraeger in Berlin W 35

Lehrbuch der Palaeobotanik von **Geh. Bergrat Professor Dr. H. Potonié.** Zweite Auflage, nach dem Tode des Verfassers bearbeitet von **Professor Dr. W. Gothan,** Dozent an der Technischen Hochschule Charlottenburg. Mit Beiträgen von **Sanitätsrat Dr. P. Menzel** und **Dr. J. Stoller.** Mit zahlreichen Textabbildungen.

1. Lief.: Geheftet 21 Mk.
2. Lief.: Geheftet 22 Mk.
3. Lief.: Unter der Presse.

1. und 2. Lief. geheftet 43 Mk., 3. (Schluß-) Lief. befindet sich unter der Presse.

Palaeobotanisches Praktikum von **Geh. Bergrat Professor Dr. H. Potonié** und **Professor Dr. W. Gothan.** Mit je einem Beitrag von Dr. J. Stoller und A. Franke. Mit 14 Textabbildungen. Gebunden 12 Mk.

Palaeozoologisches Praktikum von **Professor Dr. Ernst Stromer** von Reichenbach. Mit 6 Textabb. Leicht kart. 10 Mk.

Geologie der Steinkohlenlager von **Professor Dr. H. Dannenberg.** Erster Band. Mit 6 Tafeln und 189 Textabbildungen. Gebunden 105 Mk.

Gesammelte Abhandlungen zur Kenntnis der Kohle. Herausgegeben von Geh. Regierungsrat **Professor Dr. Franz Fischer,** Direktor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung in Mühlheim-Ruhr.

Band I: 1915—16	In Ganzleinen gebunden	80	Mk.
Band II: 1917	„ „ „	80	„
Band III: 1918	„ „ „	80	„
Band IV: 1919	„ „ „	85	„

Ausführliche Verlagsverzeichnisse kostenfrei

NOV 23 1921

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06859 3154

Digitized by Google